Le carnet du frigoriste

Michel Poulain

Compréhension, mise en service
et maintenance
des installations frigorifiques

Les clés du froid

Le carnet du frigoriste

Les clés du froid

19 bis rue de Kerispert

56470 La Trinité sur mer

Courriel : lecarnetdufrigoriste@gmail.com

Site : http://www.lecarnetdufrigoriste.com

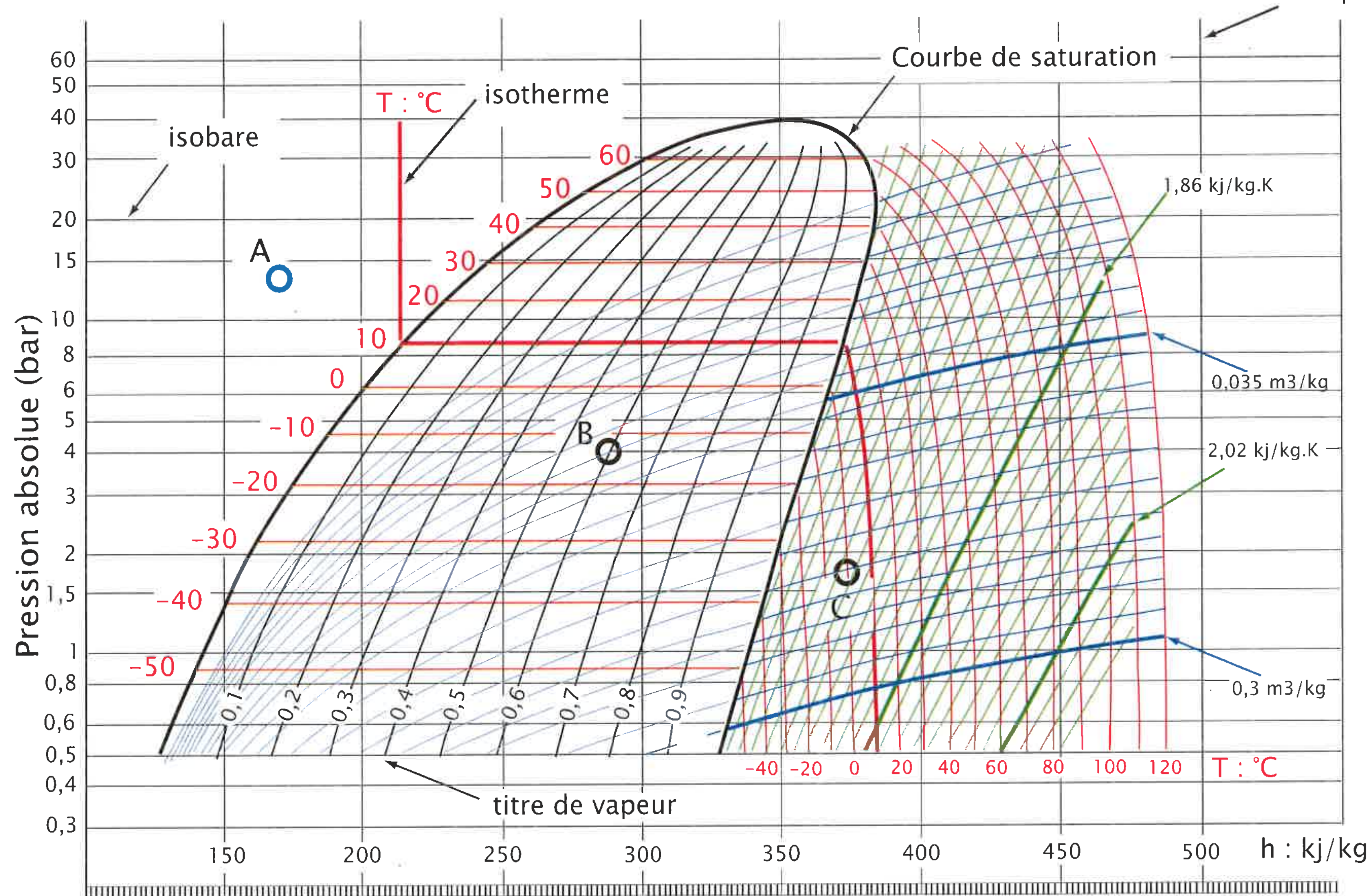
LE CARNET DU FRIGORISTE

Notes personnelles

Les circuits de base.

* R 507

Informations contenues dans le diagramme enthalpique. R 507



Le point A est dans la zone de liquide sous-refroidi.

Le point B est dans la zone de mélange de liquide+gaz.

Le point C est dans la zone des vapeurs surchauffées.

h : enthalpie du fluide au point considéré. Exprimée en kj par kg de fluide frigorigène.

isentropes ou compressions théoriques.

courbes du volume massique ou isochores.

Par
Tem
Surc
Sous
Les
Il n'
Lect
Tl
P
E.F
Va
L+
S.F
Les cy
Evol
1
2
3
4
Q0 :

Paramètres utilisés pour l'étude théorique des cycles. Fluide R 507.

Température d'évaporation – 35 °C (–15 pour les cycles 1 et 1A). Température de condensation + 35 °C.

Surchauffe à l'aspiration du compresseur : 10 K.

Sous-refroidissement du liquide dans le condenseur : 5 K.

Les compressions sont isentropiques.

Il n'y a pas de variation de pression due à des pertes de charge.

Lecture des tableaux et schémas :

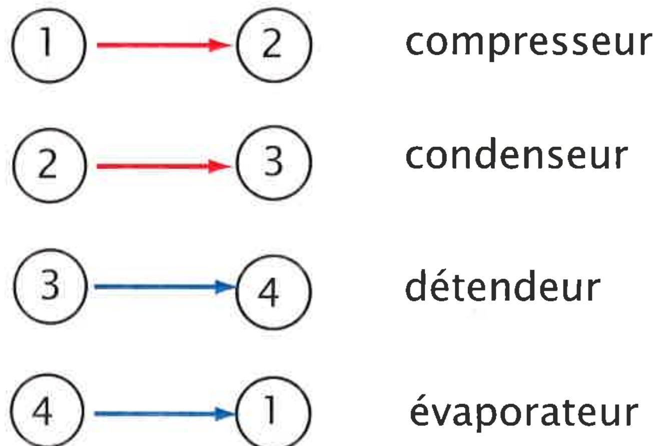
- Tl : c'est la température du fluide au point considéré.
- P : c'est la pression dans le circuit exprimée en pression absolue.

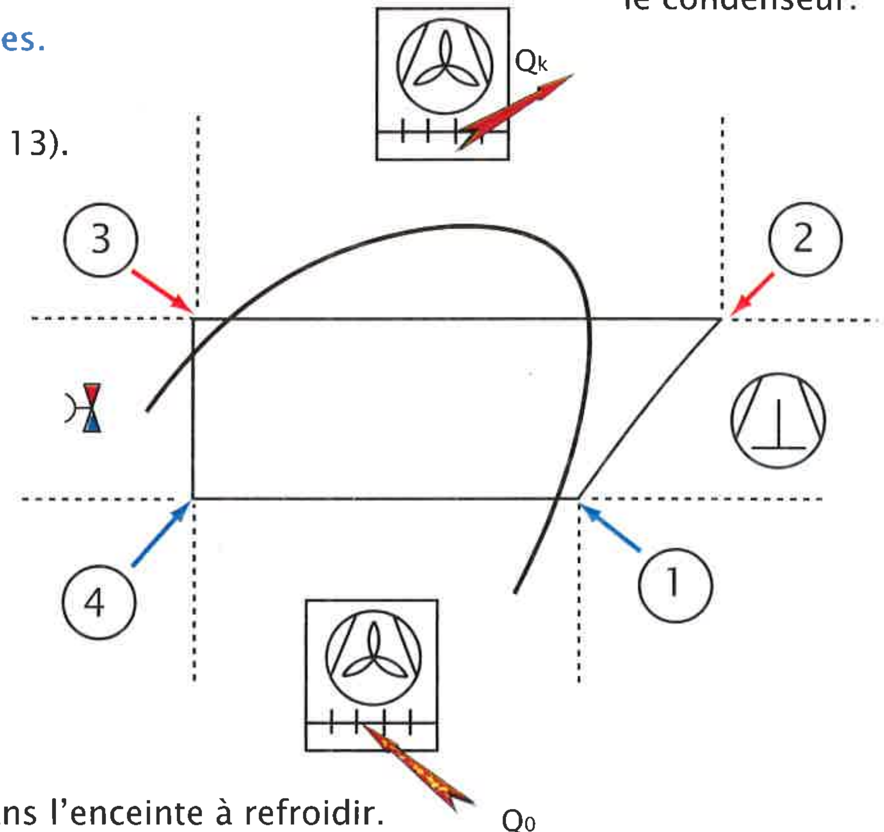
- E.F. c'est l'état du fluide dans le circuit au point considéré.
- Vap. surch. : vapeur surchauffée
- L+V : liquide et vapeur. Les vapeurs sont saturées.
- S.R. : c'est du liquide sous-refroidi.

Les cycles 1A et 2A utilisent du R 717 (pages 12 et 13).

Qk : c'est l'énergie rejetée par le condenseur.

Evolutions du fluide frigorigène dans le :



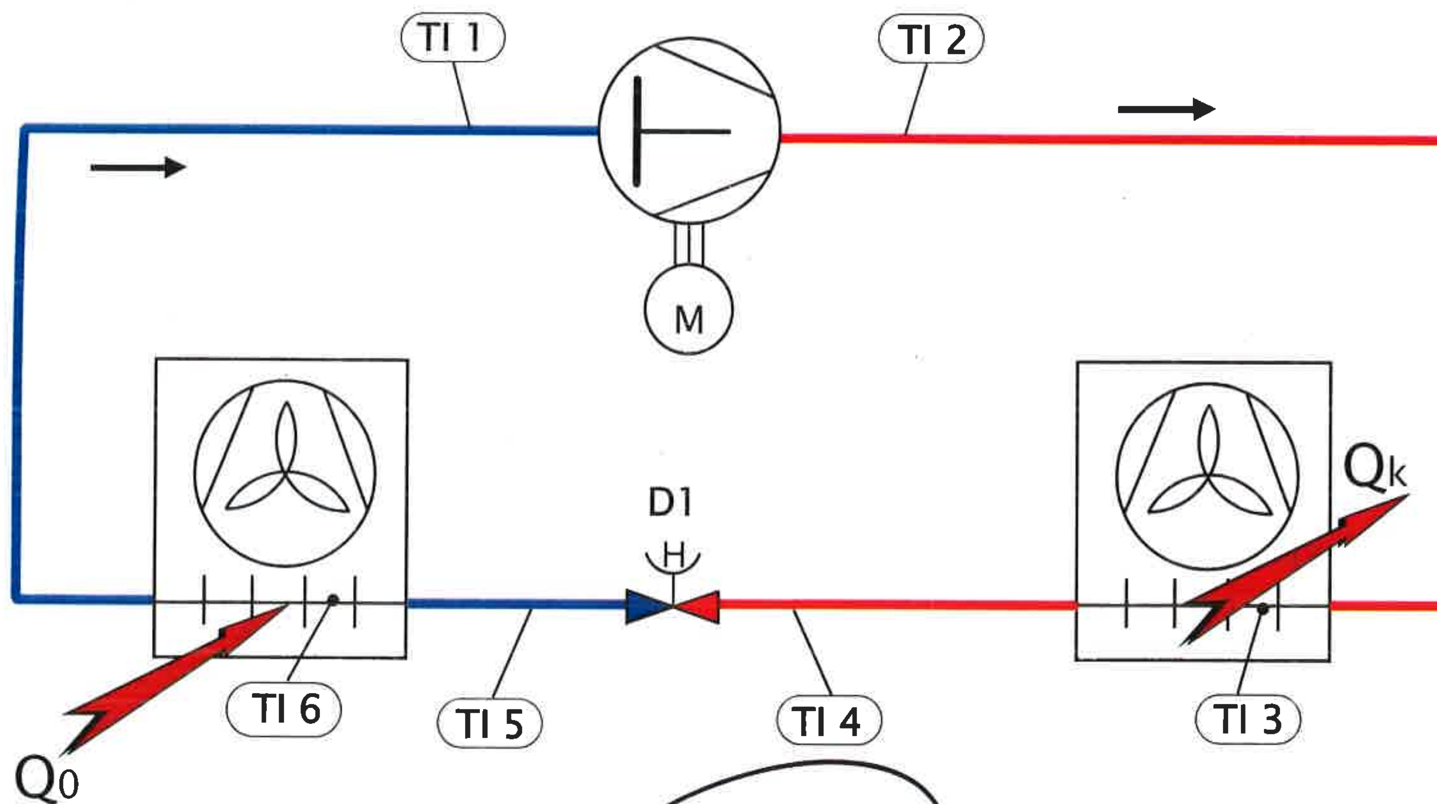


Q0 : c'est l'énergie absorbée par l'évaporateur dans l'enceinte à refroidir.

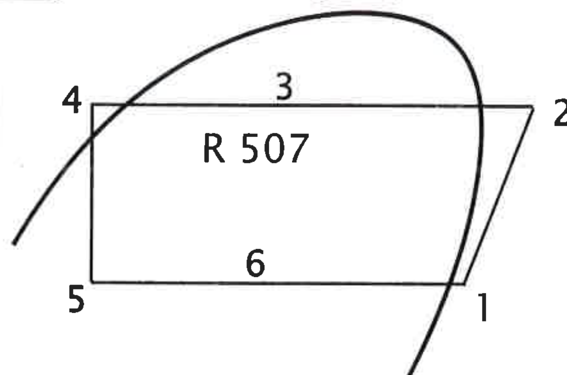
Cycle 1. Circuit mono-étagé.

Régime de fonctionnement : -15°C / +35°C

R 507



BP	P	T	E.F.
5	3,813	-15	L+V
6	3,813	-15	L+V
1	3,813	-10	Vap. surch.

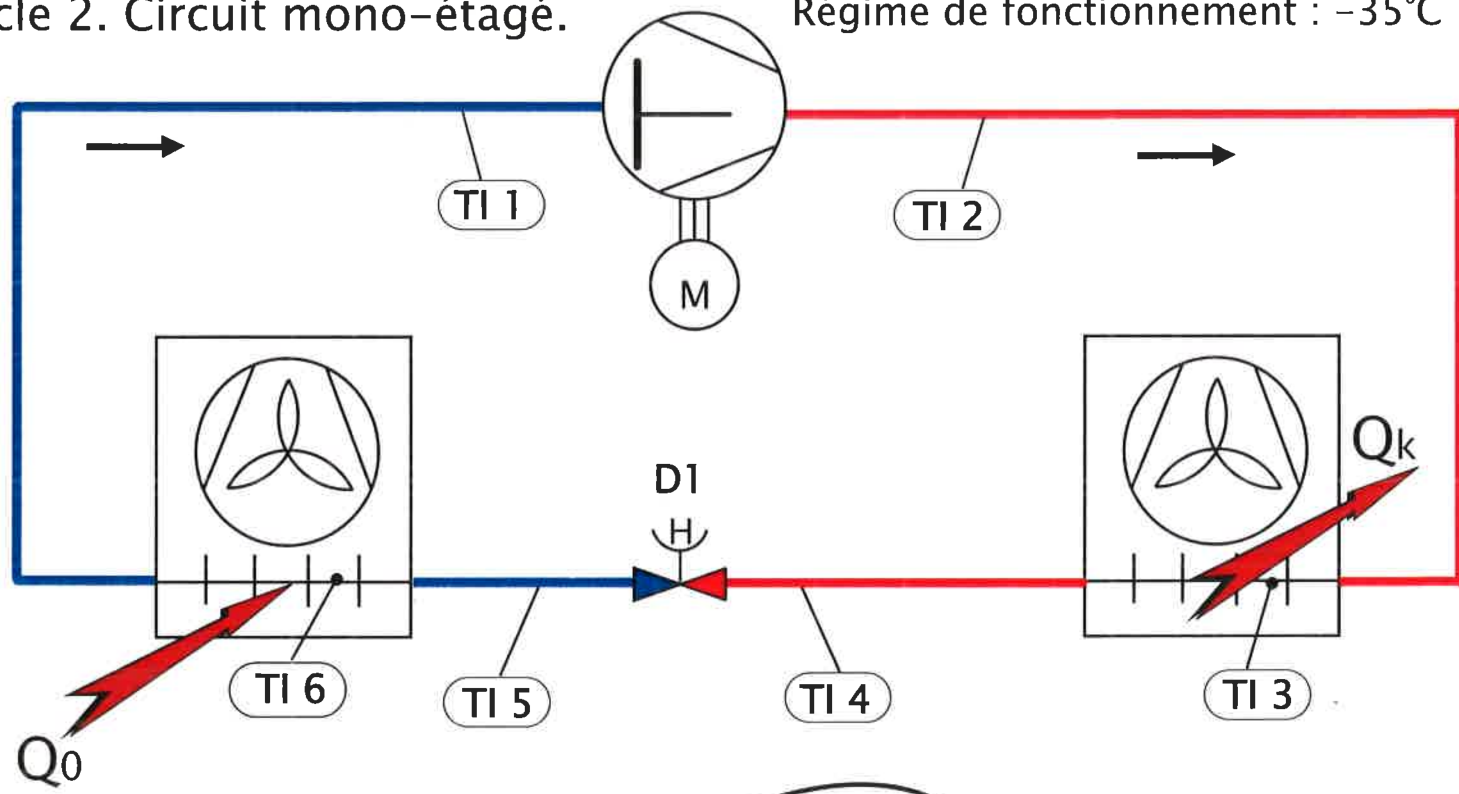


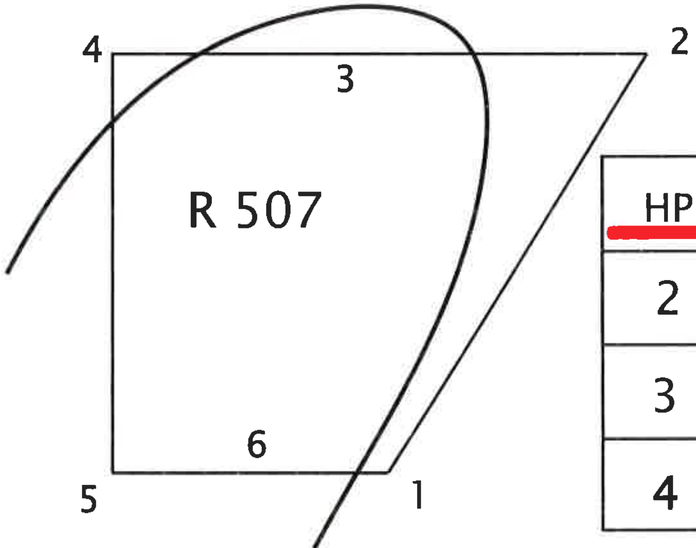
HP	P	T	E.F.
2	16,6	50	Vap. surch.
3	16,6	35	L+V
4	16,6	30	liquide S.R.

Nota : schéma de principe, seuls les composants indispensables à la compréhension du sujet traité sont représentés.

Cycle 2. Circuit mono-étagé.

Régime de fonctionnement : –35°C / +35°C





BP	P	T	E.F.
5	1,75	–35	L+V
6	1,75	–35	L+V
1	1,75	–25	Vap. surch.

HP	P	T	E.F.
2	16,6	54	Vap. surch.
3	16,6	35	L+V
4	16,6	30	liquide S.R.

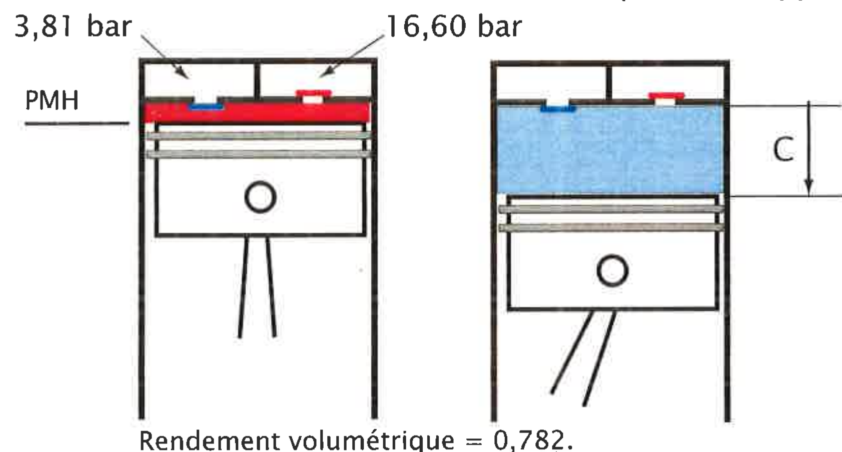
Nota : schéma de principe, seuls les composants indispensables à la compréhension du sujet traité sont représentés.

Les limites du mono-étagé. 1/2.

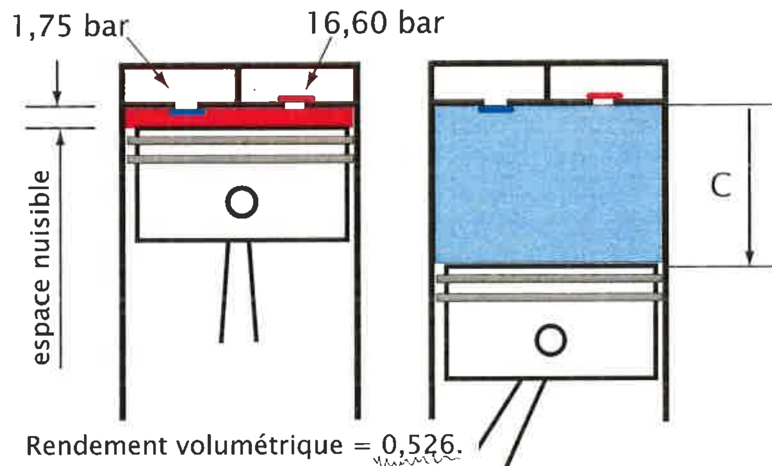
Lorsque le taux de compression augmente, 2 raisons majeures imposent les cycles bi-étagés :

- ⇨ la détérioration du rendement volumétrique,
- ⇨ la température en fin de compression.

Illustration du rendement volumétrique avec l'appui des cycles 1 et 2 des pages précédentes.



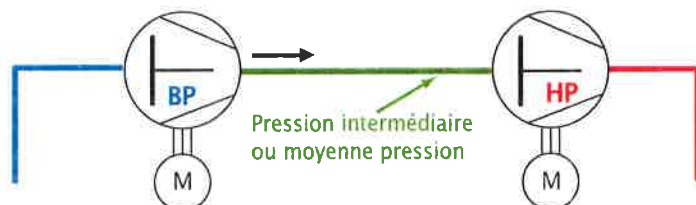
Rendement volumétrique = 0,782.

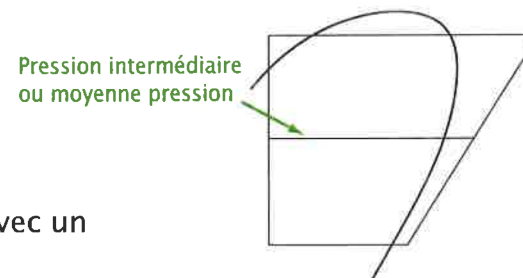


Rendement volumétrique = 0,526.

Au point mort haut (PMH), le cylindre contient du gaz à la pression de condensation dans la zone dénommée espace nuisible. Pendant la course ascendante du piston, le gaz se détend jusqu'à l'ouverture du clapet BP, c'est alors que le piston aspire du gaz produit dans l'évaporateur. La course de détente C peut être considérée comme inutile car il n'y a pas d'aspiration de gaz BP. Ce phénomène est appelé rendement volumétrique : ηv. Il dépend du taux de compression Ƭ, qui est le rapport des pressions HP/BP exprimées en valeurs absolues dans la formule empirique : ηv = 1– 0,05 x Ƭ. Cette formule est applicable pour les compresseurs à pistons.

Représentation concrète du rendement volumétrique pour une course du piston égale à 100 mm :
dans le cycle 1, la course de détente est de : 100 – 78,2 soit 21,8 mm et
dans le cycle 2, la course de détente est de : 100 – 52,6 soit 47,4 mm.

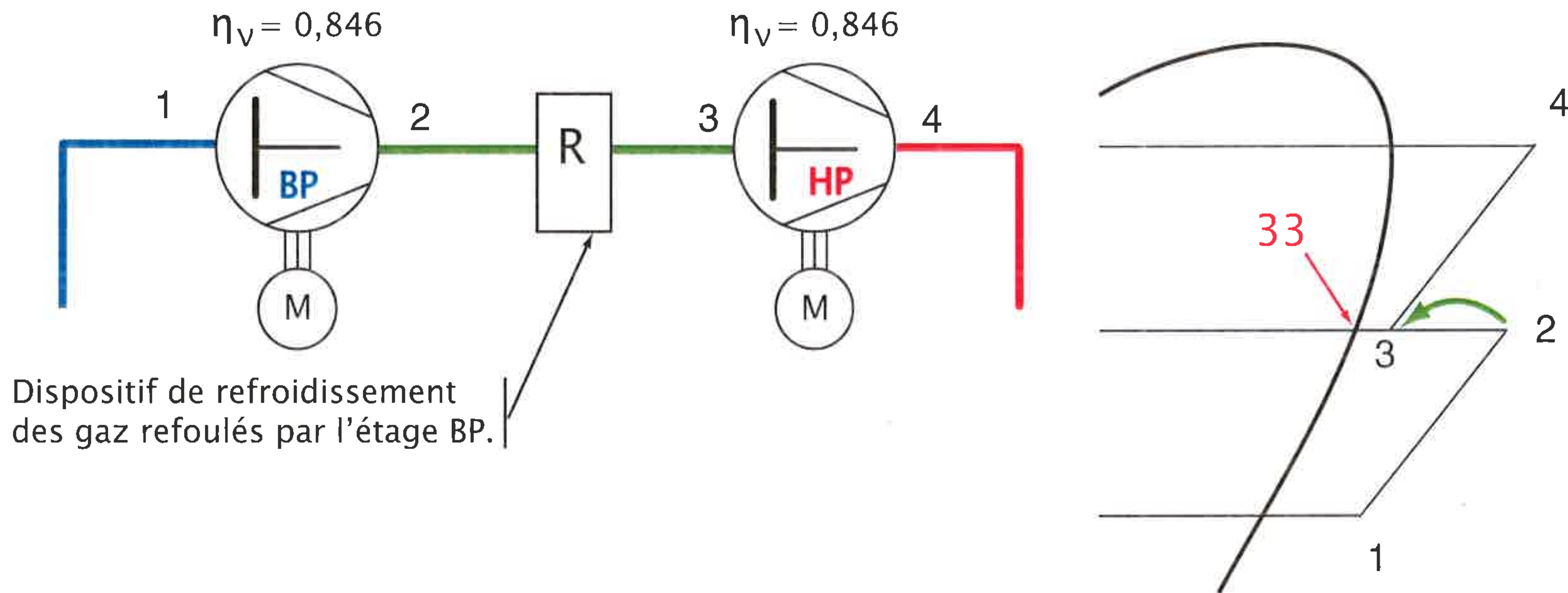




Pour améliorer le rendement volumétrique, la compression est scindée en 2 avec un compresseur BP appelé aussi "booster" et un compresseur HP.
Dans ces conditions, les rendements volumétriques sont égaux à 0,846.
Le calcul est effectué avec les pressions des cycles 3, 4, 5 et 6.

Les limites du mono-étagé. 2/2.

Avec la nouvelle conception, les rendements volumétriques sont améliorés, mais seulement une partie de l'objectif est atteinte, en effet comme l'illustre le diagramme de la page de gauche, le problème de la température de refoulement n'est pas résolu. Il est donc nécessaire de désurchauffer les gaz refoulés par le compresseur BP.



Le refroidissement ou la désurchauffe des gaz refoulés par l'étage BP est obtenu par :

- ⇨ le mélange de gaz "frais" issus d'un évaporateur sous-refroidisseur de liquide, cycle N° 3 D2 et cycle N° 4 D2,
- ⇨ l'injection de liquide par détendeur, cycle N° 4 D3,
- ⇨ l'emploi d'une bouteille intermédiaire cycles N° 5 et 6.

L'objectif est de translater les gaz de 2 en 3 sans atteindre le point 33, ce qui serait préjudiciable pour le compresseur HP.

L'usage d'un cycle bi-étagé entraîne d'autres avantages tels que :

- ⇨ la réduction du débit volume des compresseurs avec une incidence sur le coût de l'équipement,
- ⇨ la réduction de la puissance absorbée par la compression, ceci améliore le COP de l'installation.

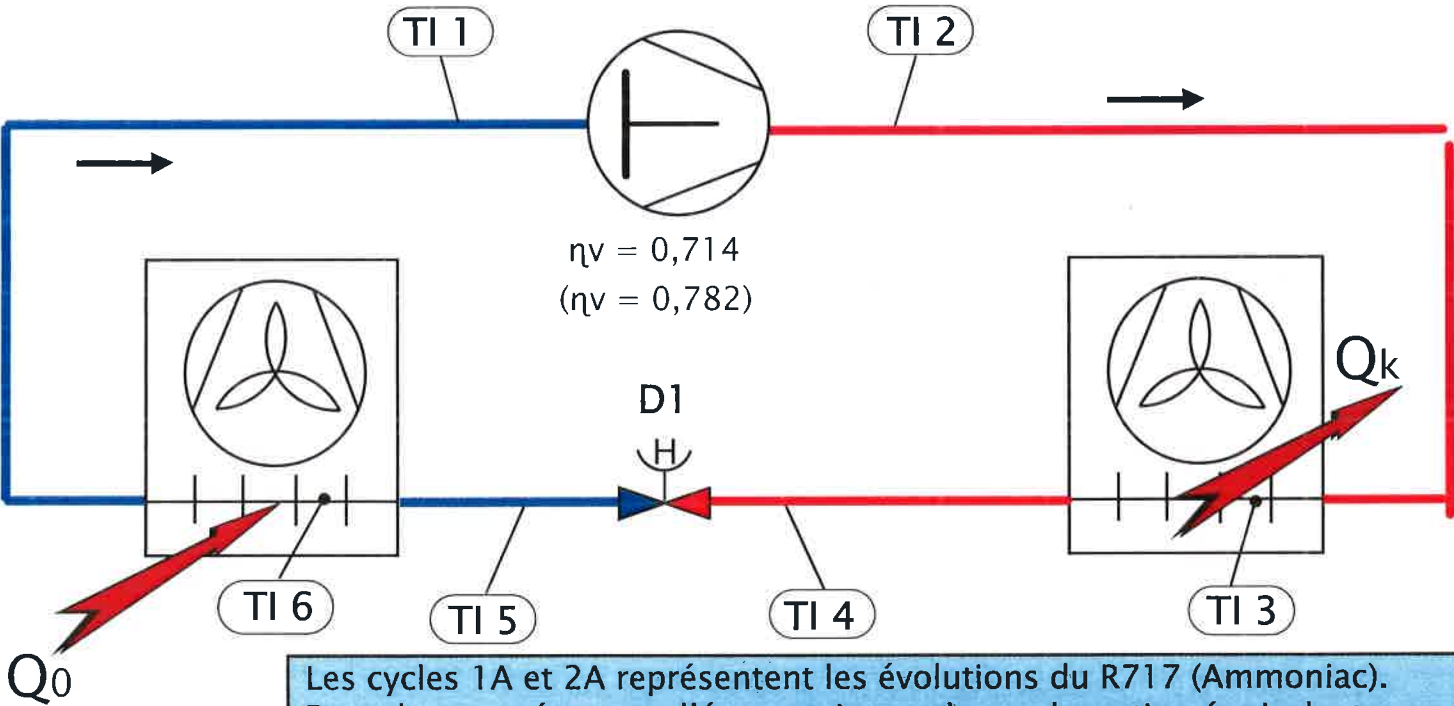
La double compression est obtenue :

- ⇨ par des compresseurs BP et HP distincts, le compresseur BP est appelé booster,
- ⇨ par un compresseur dont une partie des cylindres est destinée à la BP et l'autre partie à la HP, c'est le compresseur "compound" (pages 200 à 203, 242 - 243).

Cycle 1A. Circuit mono-étagé.

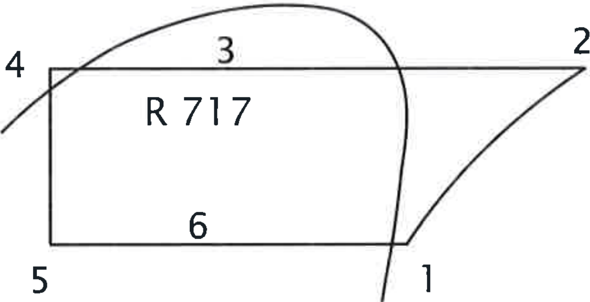
Régime de fonctionnement : -15°C / +35°C

R 717



Les cycles 1A et 2A représentent les évolutions du R717 (Ammoniac).
Pour des températures d'évaporation et de condensation équivalentes au R507, les points de fonctionnement sont bien différents.
Ces 2 cycles illustrent l'effet du taux de compression et l'impact du fluide frigorigène sur les résultats.
Entre parenthèses les valeurs du R 507.

BP	P	T	E.F.
5	2,36	-15	L+V
6	2,36	-15	L+V
1	2,36	-10	Vap. surch.



HP	P	T	E.F.
2	13,5	112	Vap. surch.
3	13,5	35	L+V
4	13,5	30	liquide S.R.

Cycle



Q

BP
5
6
1

Nota

Cycle 2A. Circuit mono-étagé.

Régime de fonctionnement : -35°C / +35°C

R 717

TI 1 TI 2

ηv = 0,275

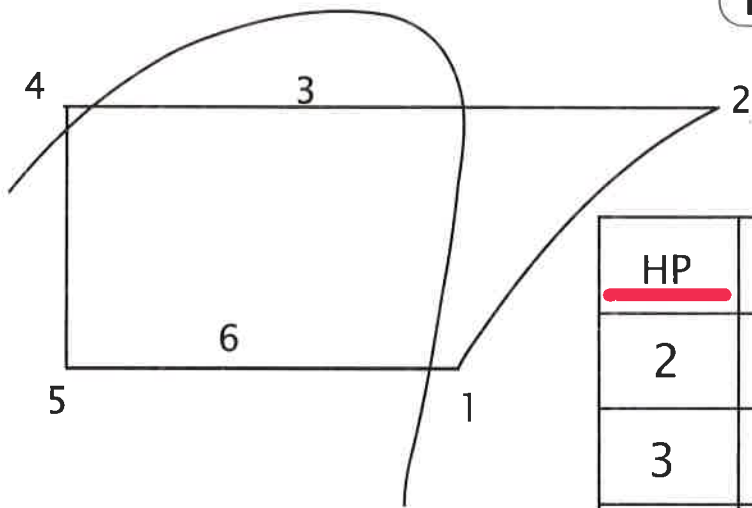
(ηv = 0,53)

TI 5 D1 TI 4

Q_k

TI 6 TI 3

Q_0



BP	P	T	E.F.
5	0,93	-35	L+V
6	0,93	-35	L+V
1	0,93	-25	Vap. surch.

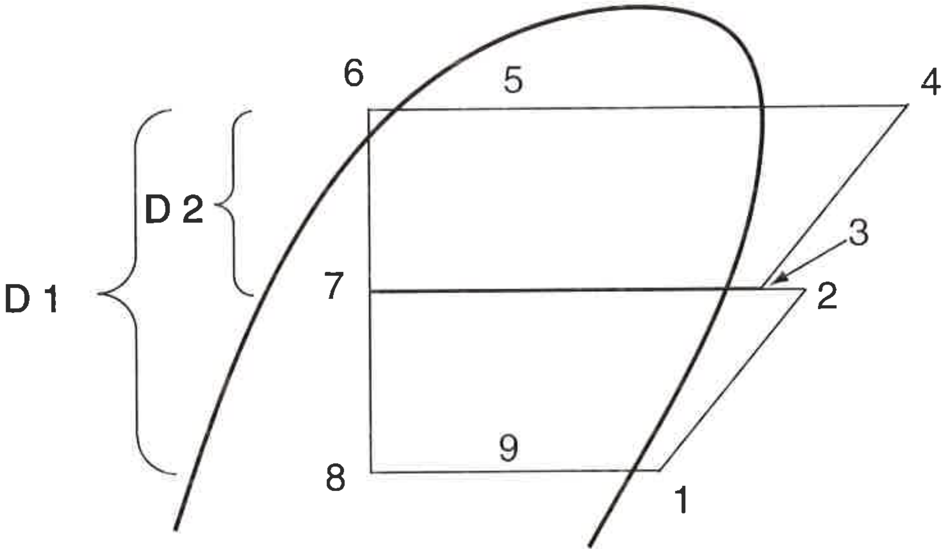
HP	P	T	E.F.
2	13,5	170	Vap. surch.
3	13,5	35	L+V
4	13,5	30	liquide S.R.

Nota : schéma de principe, seuls les composants indispensables à la compréhension du sujet traité sont représentés.

CYCLE 3 : circuit bi-étagé, injection partielle, désurchauffe par détendeur.

R 507

Régime de fonctionnement : -35°C / +35°C

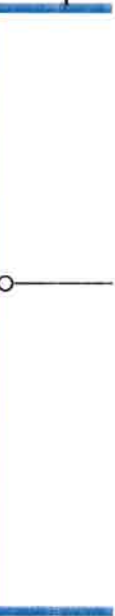


BP	P	T	E.F.
1	1,75	-25	Vap. surch.
8	1,75	-35	L+V
9	1,75	-35	L+V

MP	P	T	E.F.
2	5,4	10	Vap. surch.
3	5,4	5	Vap. surch.
7	5,4	-5	L+V

HP	P	T	E.F.
4	16,6	48	Vap. surch.
5	16,6	35	L+V
6	16,6	30	liquide S.R.

CYCL





Q0

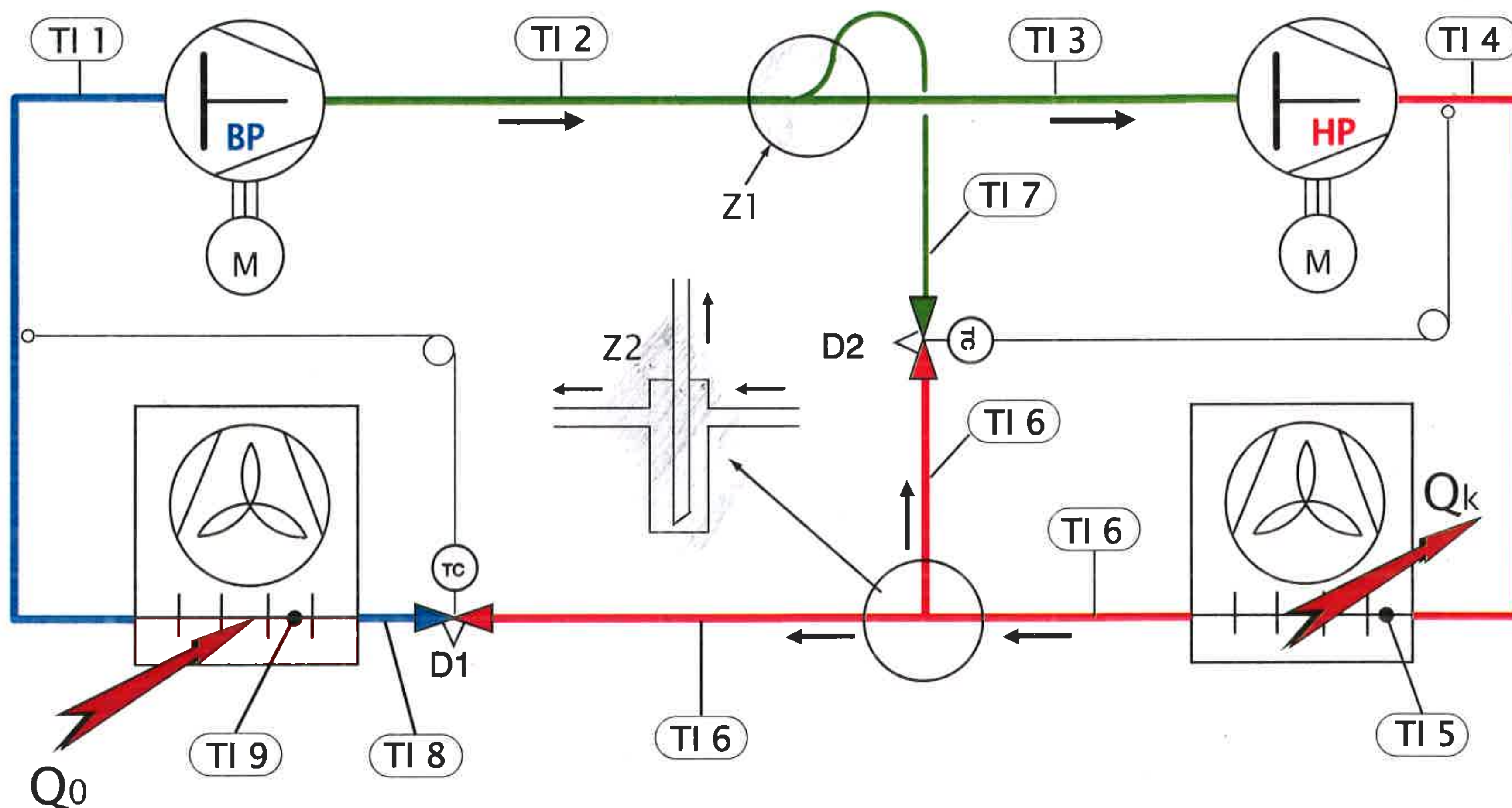
Détail Z

Détail Z

D2 : le

No

CYCLE 3 : circuit bi-étagé, injection partielle, désurchauffe par détendeur.



Détail Z1 : l'injection à contre-courant favorise l'homogénéité du mélange avant l'aspiration du compresseur HP.

Détail Z2 : le dispositif avec un tube plongeur assure l'alimentation en liquide du détendeur d'injection.

D2 : le détendeur utilisé pour l'injection de désurchauffe est adapté :

→ pour assurer un faible débit de fluide frigorigène,

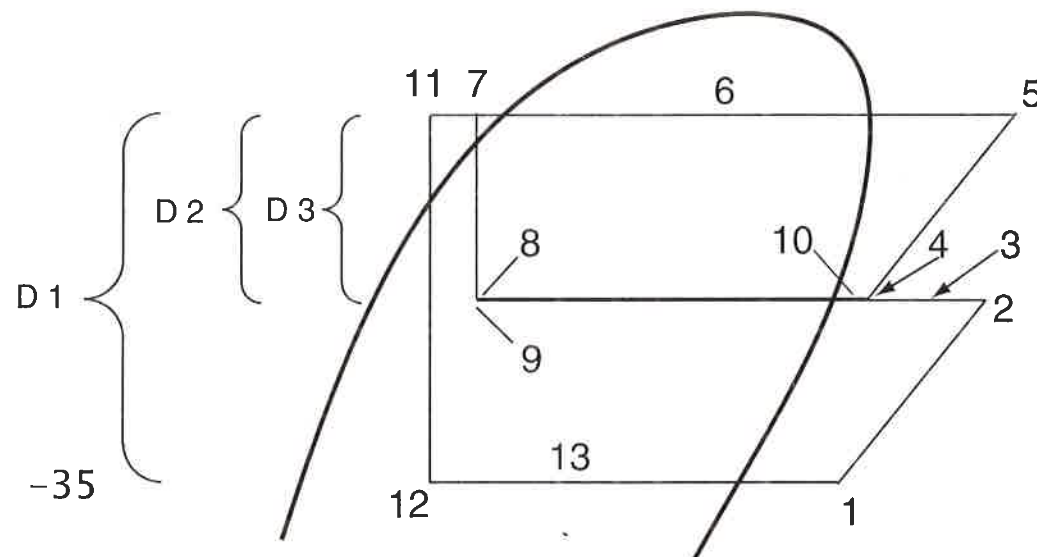
→ pour fonctionner avec la température de son bulbe élevée.

Nota : schéma de principe, seuls les composants indispensables à la compréhension du sujet traité sont représentés.

Cycle 4 : circuit bi-étagé, injection partielle
avec sous-refroidissement et injection de désurchauffe.

Régime de fonctionnement :
-35°C /+35°C

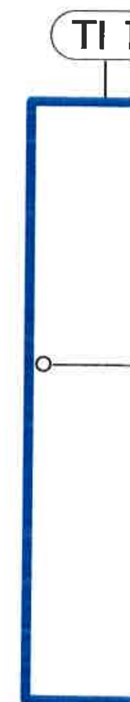
R 507



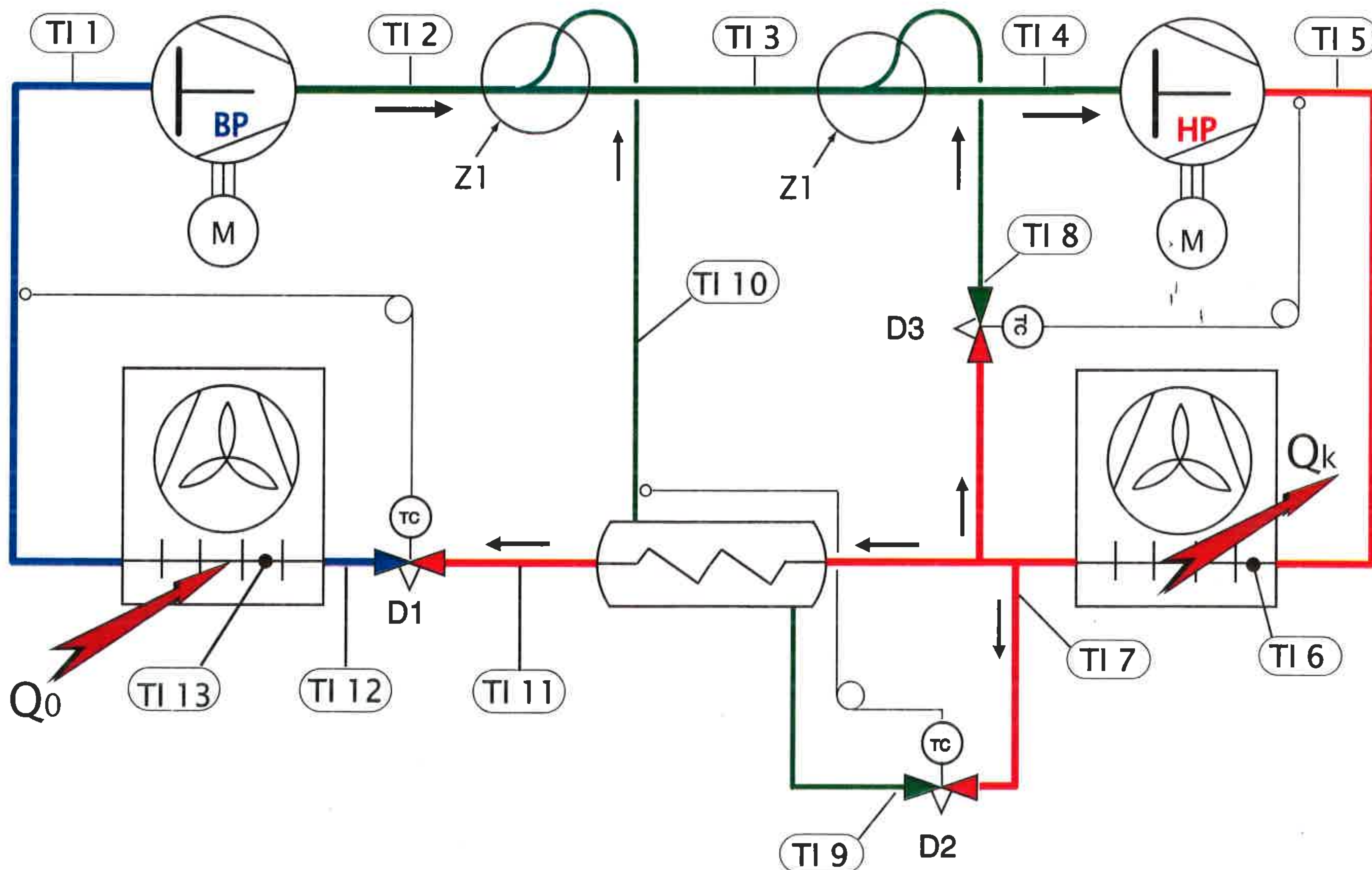
BP	P	T	E.F.
1	1,75	-25	Vap. surch.
12	1,75	-35	L+V
13	1,75	-35	L+V

MP	P	T	E.F.
2	5,4	18	Vap. surch.
3	5,4	10	Vap. surch.
4	5,4	5	Vap. surch.
8	5,4	-5	L+V
9	5,4	-5	L+V
10	5,4	2	Vap. surch.

HP	P	T	E.F.
5	16,6	55	Vap. surch.
6	16,6	35	L+V
7	16,6	30	liquide S.R.
11	16,6	20	liquide S.R.



Cycle 4 : circuit bi-étagé, injection partielle
avec sous-refroidissement et injection de désurchauffe.

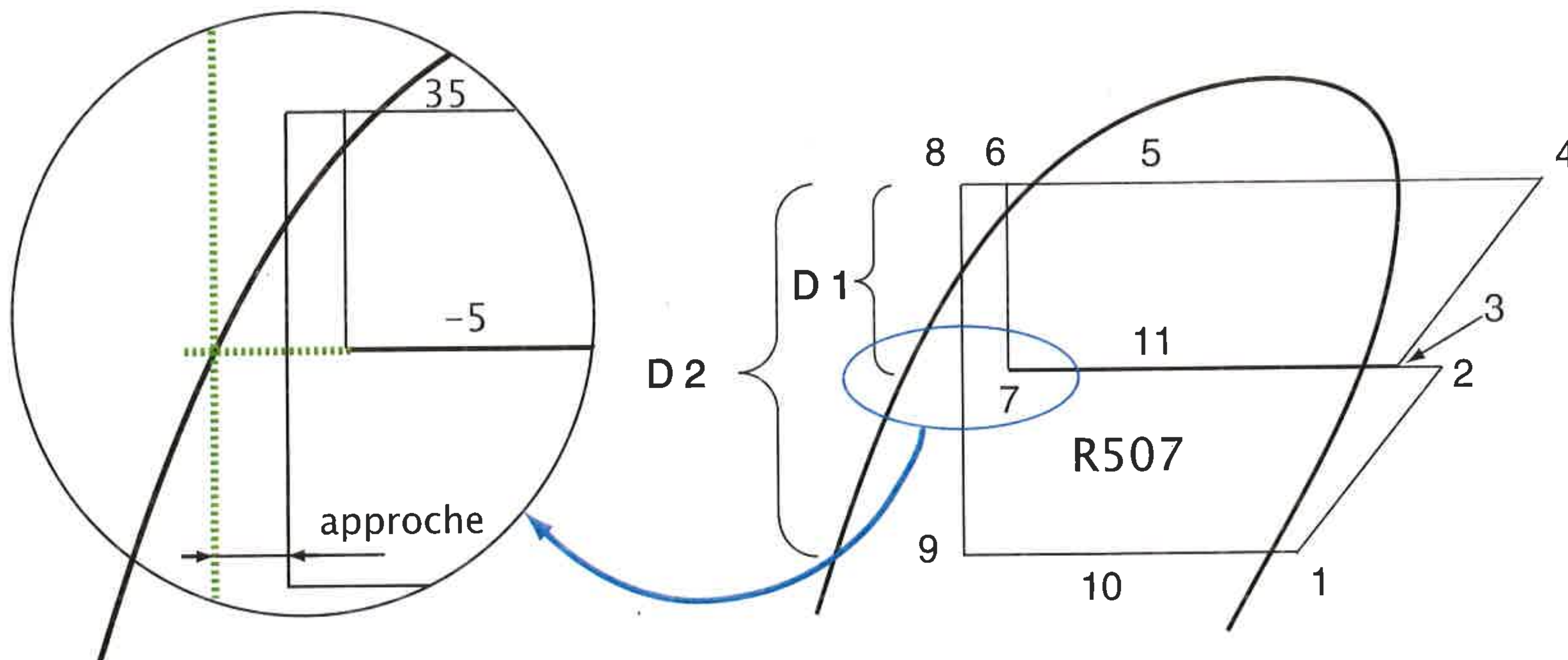


Détail Z1 : l'injection à contre-courant favorise l'homogénéité du mélange avant l'aspiration par le compresseur HP.

Nota : schéma de principe, seuls les composants indispensables à la compréhension du sujet traité sont représentés.

Cycle 5 : circuit bi-étagé, injection partielle avec sous-refroidissement.

Régime de fonctionnement : -35°C / +35°C



BP	P	T	E.F.
1	1,75	-25	Vap. surch.
9	1,75	-35	L+V
10	1,75	-35	L+V

MP	P	T	E.F.
2	5,4	10	Vap. surch.
3	5,4	+5	Vap. surch.
7	5,4	-5	L+V
11	5,4	-5	L+V

HP	P	T	E.F.
4	16,6	48	Vap. surch.
5	16,6	35	L+V
6	16,6	30	liquide S.R.
8	16,6	10	liquide S.R.

Cycle 5

TI 1

Q_0

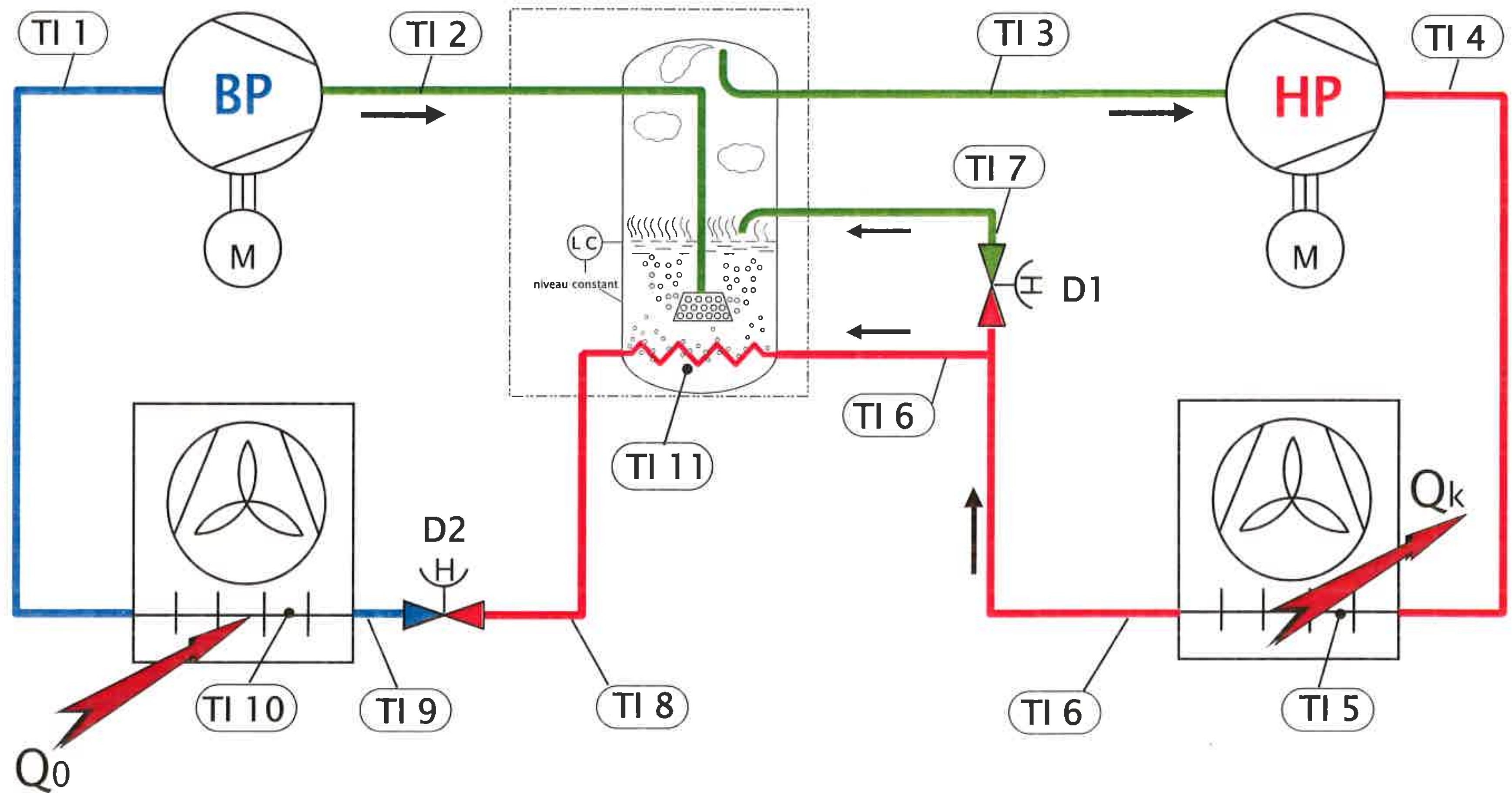
Les vape
Pour am
Un échar
du liquic
Nota : pc
La tempe
interméc
Cette val

35°C

4
7

E.F.
Vap. surch.
L+V
liquide S.R.
liquide S.R.

Cycle 5 : circuit bi-étagé, injection partielle avec sous-refroidissement.



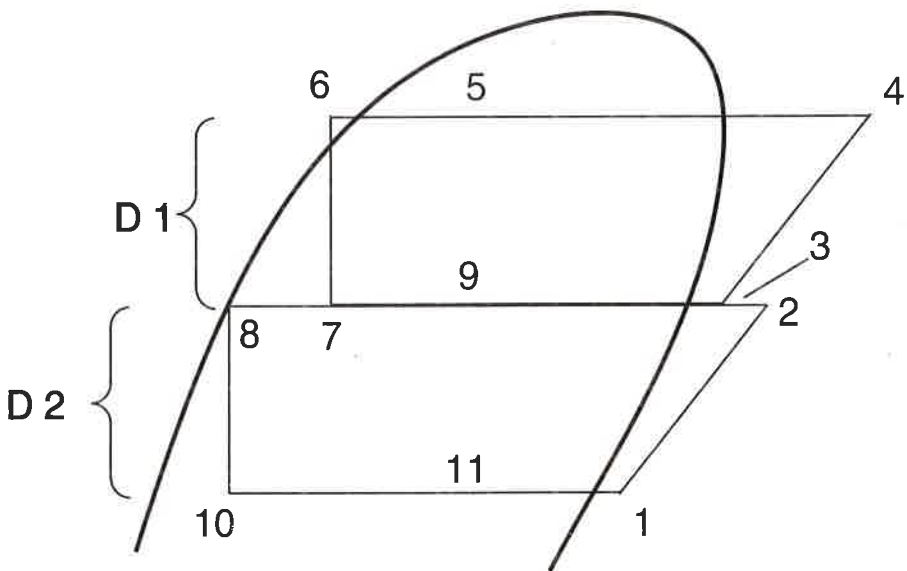
Les vapeurs refoulées par le compresseur BP sont désurchauffées dans la bouteille intermédiaire.
Pour améliorer le rendement de l'installation, le liquide HP est sous-refroidi une seconde fois.
Un échangeur placé dans la partie inférieure de la bouteille intermédiaire permet d'abaisser la température du liquide de 35 à 10 °C.
Nota : pour des considérations économiques, la surface de l'échangeur est limitée.
La température du liquide en 8 est environ 15 K au-dessus de la température du liquide dans la bouteille intermédiaire.
Cette valeur est dénommée : approche.

Nota : schéma de principe, seuls les composants indispensables à la compréhension du sujet traité sont représentés.

Cycle 6 : circuit bi-étagé, injection totale.

Régime de fonctionnement :
-35°C/+35°C

R 507



BP	P	T	E.F.
1	1,75	-25	Vap. surch.
10	1,75	-35	L+V
11	1,75	-35	L+V

MP	P	T	E.F.
2	5,4	18	Vap. surch.
3	5,4	5	Vap. surch.
7	5,4	-5	L+V
8	5,4	-5	Liquide
9	5,4	-5	L+V

HP	P	T	E.F.
4	16,6	55	Vap. surch.
5	16,6	35	L+V
6	16,6	30	liquide S.R.

Cycle 6 : circuit bi-étagé, injection totale.

E.F.

Vap. surch.

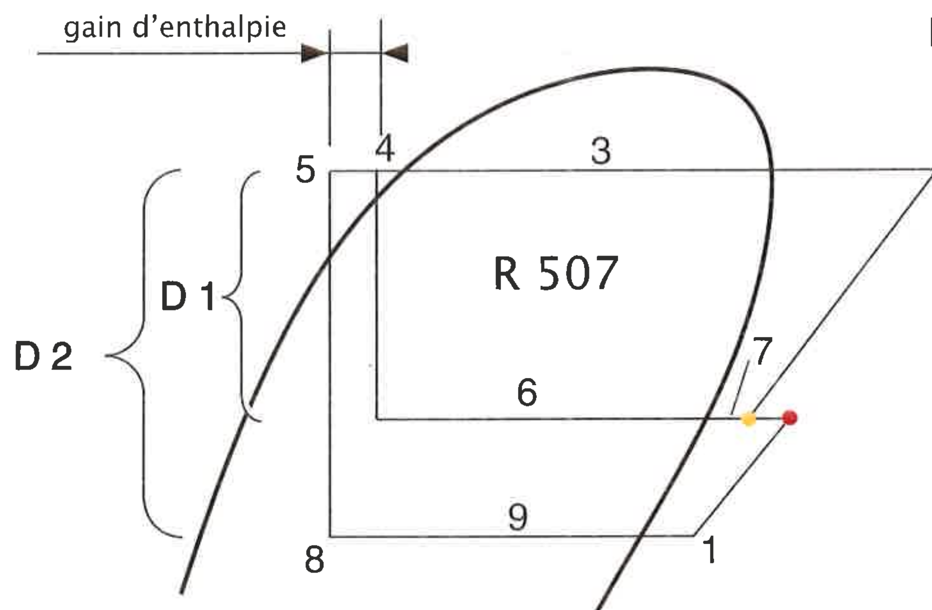
L+V

liquide S.R.

Ce cycle s'apparente au cycle 5.
Les vapeurs refoulées par le compresseur BP sont désurchauffées dans la bouteille intermédiaire.
La totalité du fluide frigorigène qui est injectée dans le circuit BP a été détendue dans la bouteille intermédiaire.
Le gain d'enthalpie entre 7 et 8 diminue le débit masse de l'installation, ce qui réduit le dimensionnement des composants (compresseurs, tubes, etc.).

Nota : schéma de principe, seuls les composants indispensables à la compréhension du sujet traité sont représentés.

Cycle 7 : compresseur à vis avec économisseur, injection partielle.



Les points 🟡 et 🔴 ne sont pas mesurables sur le compresseur. Le point 🟡 est le résultat du mélange entre 7 et 🔴

Régime de fonctionnement : −35°C / +35°C

Les constructeurs de compresseurs à vis ont constaté le manque de gaz entre les lobes des vis dès le début de la compression.
Alors un appoint de gaz complète l'espace interlobaire. Il provient d'un échangeur ou d'une bouteille intermédiaire et est injecté par un orifice situé dans la zone de compression.

Pour les 2 techniques d'injection, partielle ou totale, le gain d'enthalpie améliore le C.O.P. de l'installation.
En effet, ce gain d'enthalpie se traduit par une faible augmentation de la puissance absorbée.
Plusieurs termes sont utilisés pour identifier cette technique :
économiseur, suralimentation ou superfeed.

BP	P	T	E.F.
1	1,75	-25	Vap. surch.
8	1,75	-35	L+V
9	1,75	-35	L+V

MP	P	T	E.F.
6	3,81	-15	L+V
7	3,81	-5	Vap. surch.

HP	P	T	E.F.
2	16,6	50	Vap. surch.
3	16,6	35	L+V
4	16,6	30	liquide S.R.
5	16,6	20	liquide S.R.

/+35°C

vis ont
obes des

space
ır ou
jecté par
ression.

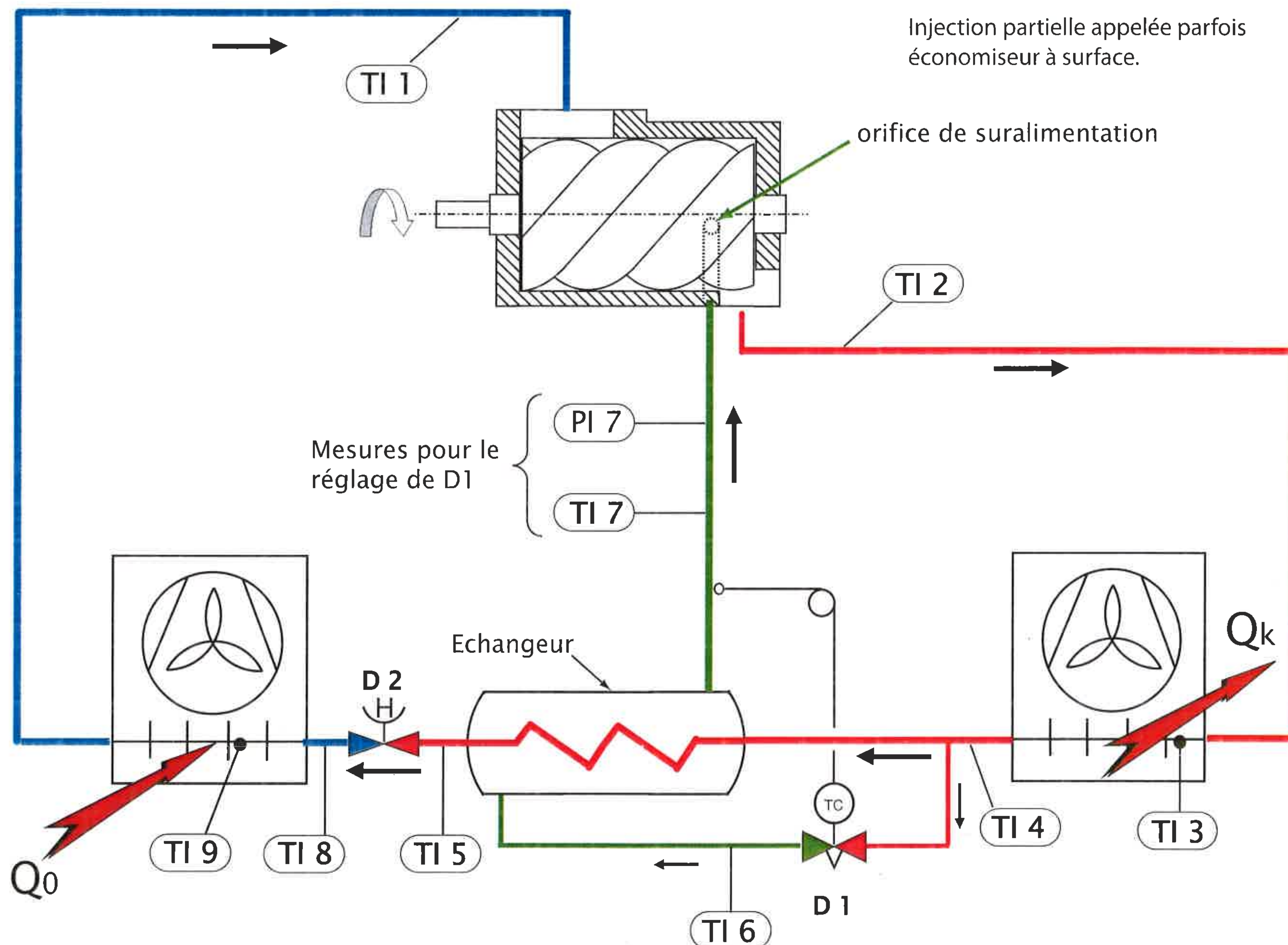
ielle ou
C.O.P.

ı de la

ɛrfeed.

E.F.
Vap. surch.
L+V
liquide S.R.
liquide S.R.

Cycle 7. Compresseur à vis avec économiseur, injection partielle.



Nota : schéma de principe, seuls les composants indispensables à la compréhension du sujet traité sont représentés.

Cycle 8 : compresseur à vis avec économiseur, injection totale.

Régime de fonctionnement : -35°C / +35°C

Injection totale appelée parfois économiseur flash.

R 507

gain d'enthalpie

D 1

D 2

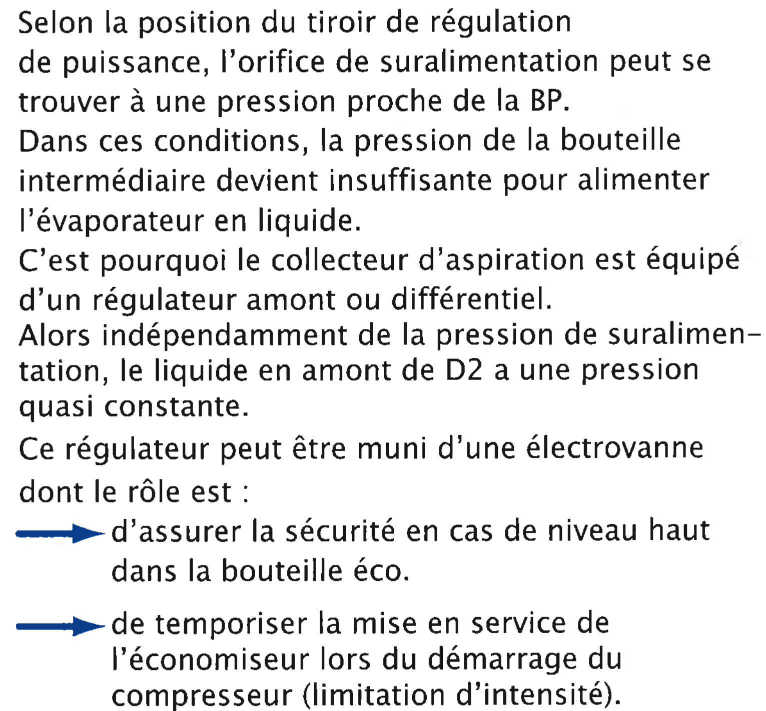
4 3 2

5 6 8 9

7

10 11 1

Δp régulateur



Selon la position du tiroir de régulation de puissance, l'orifice de suralimentation peut se trouver à une pression proche de la BP.
Dans ces conditions, la pression de la bouteille intermédiaire devient insuffisante pour alimenter l'évaporateur en liquide.
C'est pourquoi le collecteur d'aspiration est équipé d'un régulateur amont ou différentiel.
Alors indépendamment de la pression de suralimentation, le liquide en amont de D2 a une pression quasi constante.
Ce régulateur peut être muni d'une électrovanne dont le rôle est :

- d'assurer la sécurité en cas de niveau haut dans la bouteille éco.
- de temporiser la mise en service de l'économiseur lors du démarrage du compresseur (limitation d'intensité).

BP	P	T	E.F.
1	1,75	-25	Vap. surch.
10	1,75	-35	L+V
11	1,75	-35	L+V

MP	P	T	E.F.
5	7,34	5	L+V
6	7,34	5	L+V
7	7,34	5	liquide
8	7,34	10	Vap. surch.

Pression de suralimentation			
	P	T	E.F.
9	6,29	0	Vap. surch.

HP	P	T	E.F.
2	16,6	50	Vap. surch.
3	16,6	35	L+V
4	16,6	30	liquide S.R.

ıt se

lle
nter

équipé

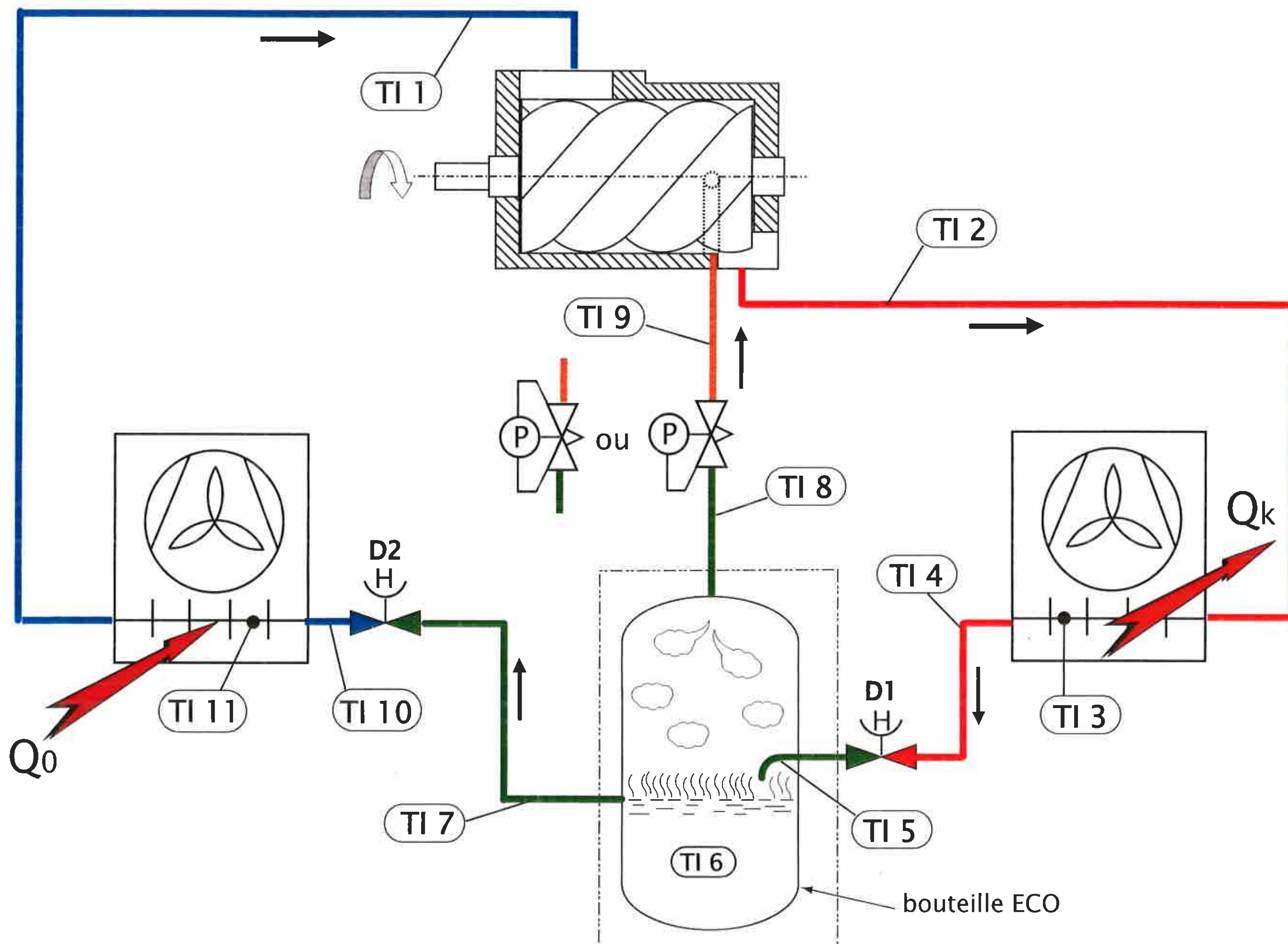
alimen-
ion

nne

haut

E.F.
Vap. surch.
L+V
liquide S.R.

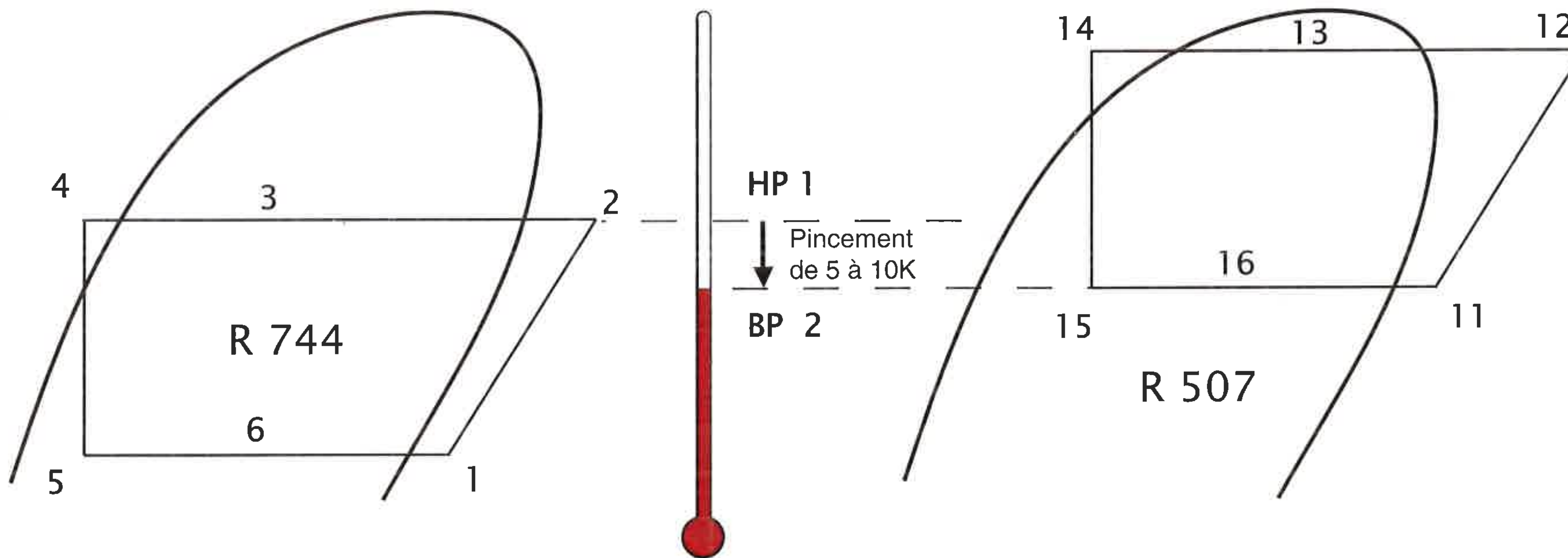
Cycle 8 : compresseur à vis avec économiseur, injection totale.



Nota : schéma de principe, seuls les composants indispensables à la compréhension du sujet traité sont représentés.

Cycle 9, circuit en cascade. R 744 / R 507

Régime de fonctionnement : –35°C /+35°C



Etage basse pression R 744

BP 1	P	T	E.F.
1	12	-32	Vap. surch.
5	12	-35	L+V
6	12	-35	L+V

HP 1	P	T	E.F.
2	30,45	45	Vap. surch.
3	30,45	-5	L+V
4	30,45	-2	liquide S.R.

Etage haute pression R 507

BP 2	P	T	E.F.
11	4,54	0	Vap. surch.
15	4,54	-10	L+V
16	4,54	-10	L+V

HP 2	P	T	E.F.
12	16,6	57	Vap. surch.
13	16,6	35	L+V
14	16,6	30	liquide S.R.

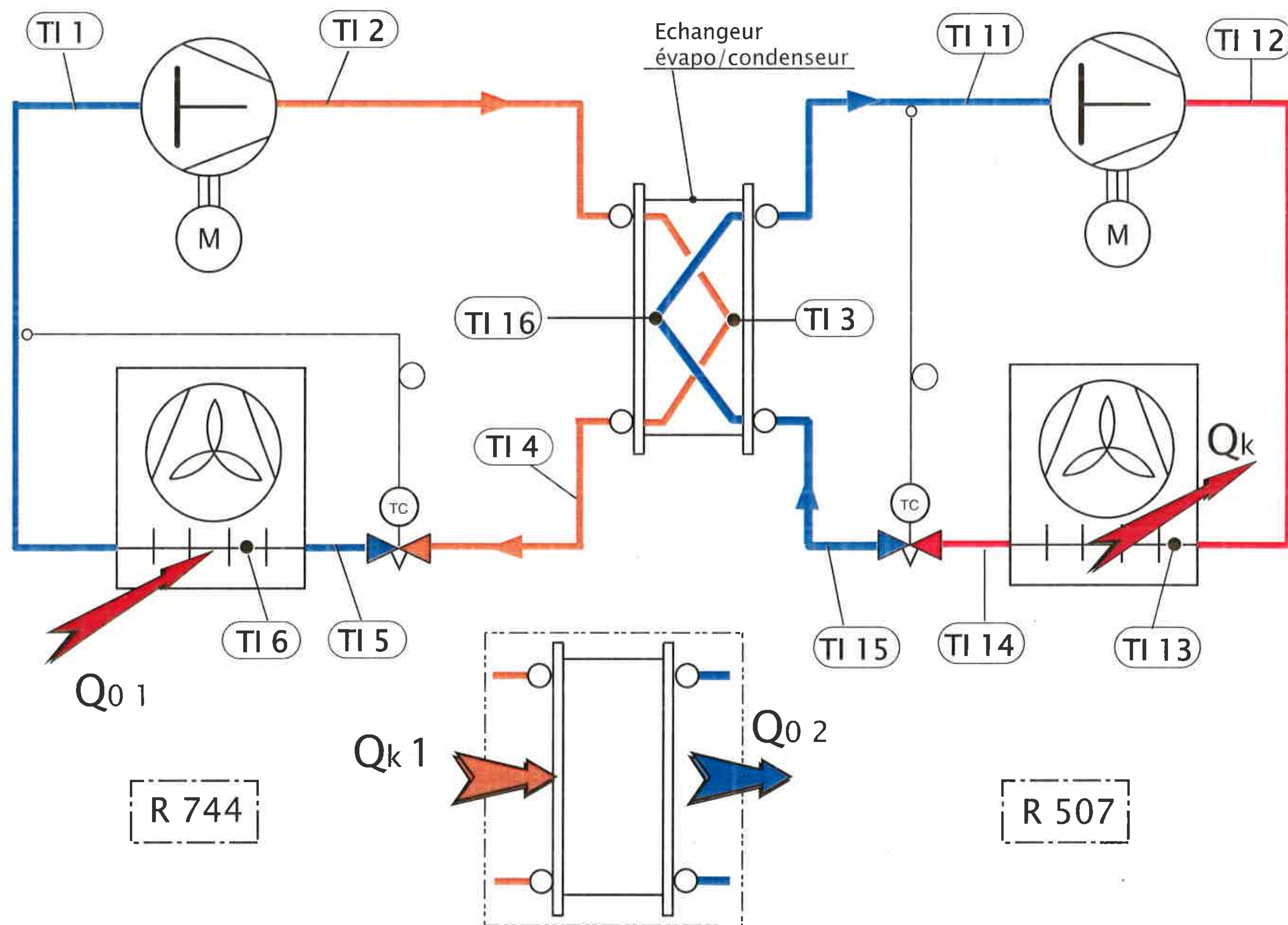
Cycle

TI 1



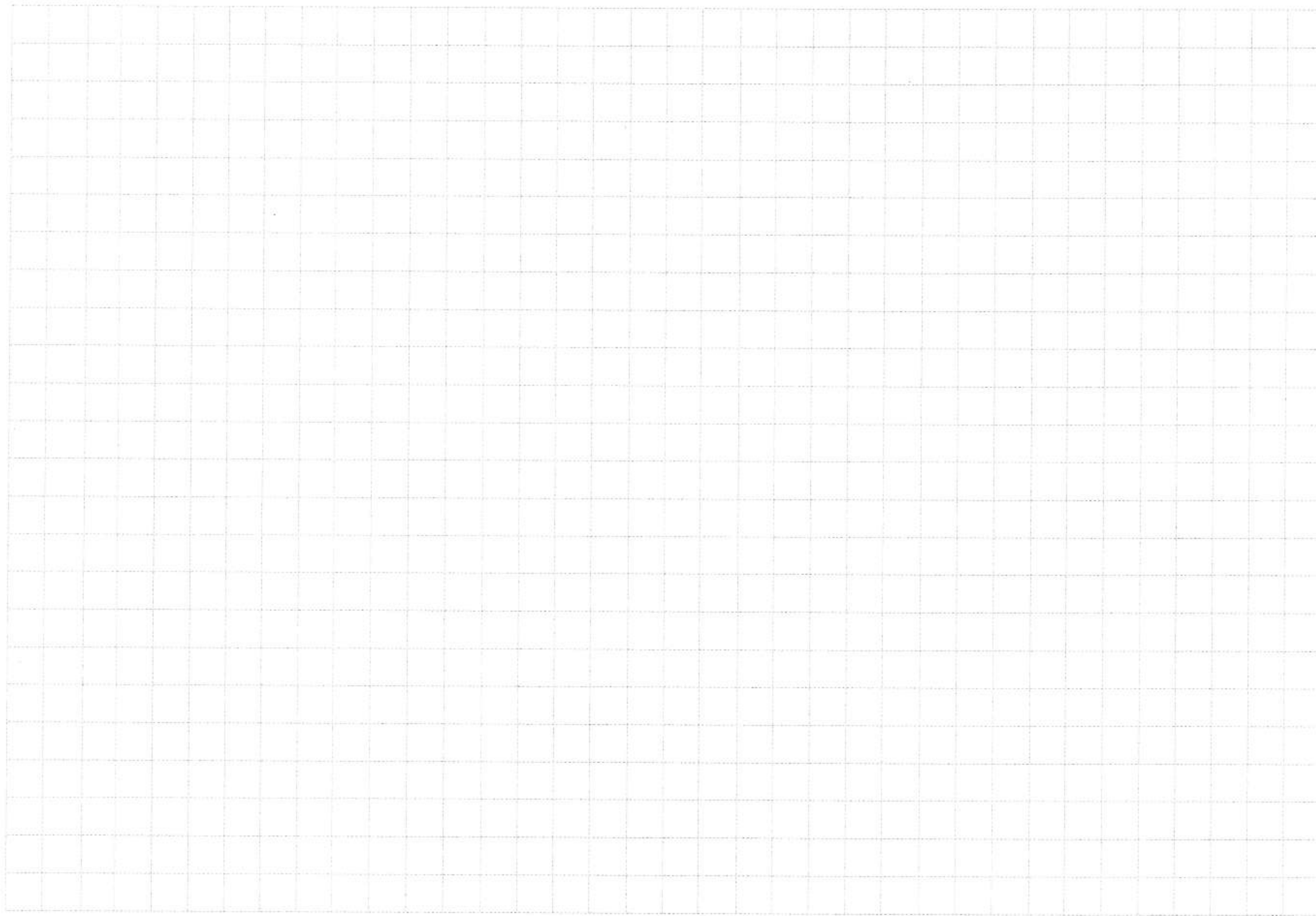
C

Cycle 9. Circuit en cascade, R 744 / R 507

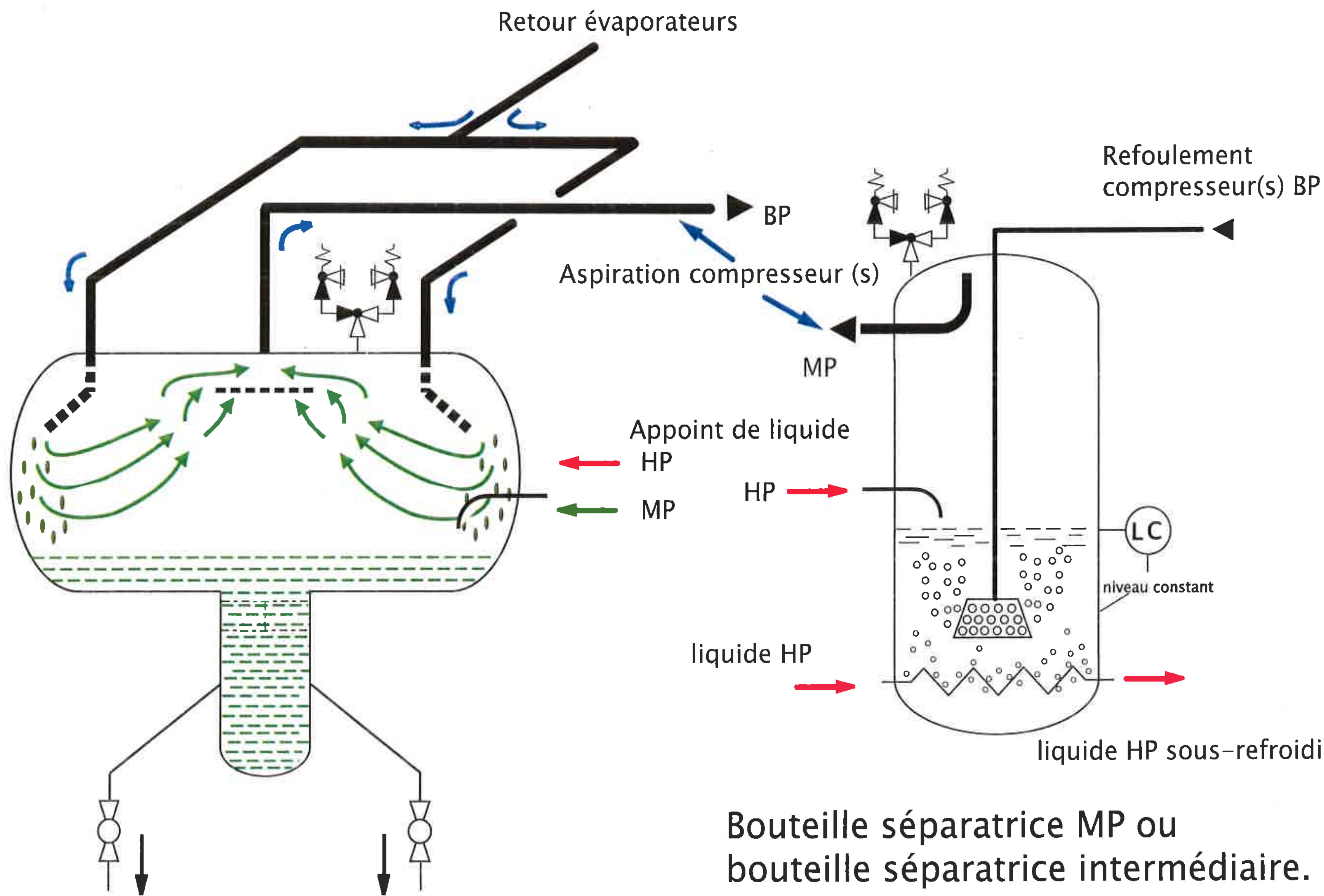


Nota : schéma de principe, seuls les composants indispensables à la compréhension du sujet traité sont représentés.

Notes personnelles



Les réalisations d'équipements frigorifiques.



Bouteille séparatrice MP ou
bouteille séparatrice intermédiaire.

Bouteille séparatrice BP

it
ır(s) BP

'efroidi

aire.

Les bouteilles séparatrices BP et MP.

Dans les systèmes noyés, les bouteilles séparatrices ont pour fonctions principales :

- l'alimentation en liquide détendu des évaporateurs ou des pompes,
- la séparation du liquide et de la vapeur.

Alimentation des évaporateurs.

Deux systèmes sont utilisés pour alimenter les évaporateurs en liquide détendu :

- le régime noyé gravitaire. C'est un système simple, qui fonctionne en thermosiphon, il peut alimenter tous types d'évaporateurs. L'évaporateur doit se situer en dessous de la bouteille séparatrice et à une distance raisonnable.
- le régime noyé par pompe. Ce dispositif permet d'alimenter tous types d'évaporateurs, quels que soient leurs nombres et leurs situations. Les stations de pompes sont détaillées dans le chapitre des pompes (pages 144 à 147).

La séparation du liquide et de la vapeur.

Au retour des évaporateurs alimentés par pompe, le fluide frigorigène se trouve à l'état liquide et gazeux. Le pourcentage est d'environ 70% de liquide et de 30% de vapeur. Il est important de séparer le liquide des vapeurs, ceci pour éviter la détérioration des compresseurs par "coup de liquide".

Une faible vitesse des gaz dans la bouteille, 0,25 à 0,5 m/s, favorise la séparation du mélange : le liquide "lourd" descend, alors que les vapeurs s'élèvent, aspirées par le compresseur.

Certains cycles bi-étagés utilisent des bouteilles séparatrices intermédiaires, outre les fonctions d'alimentation et de séparation, elles participent à la désurchauffe des gaz refoulés par l'étage BP.

Le refoulement du compresseur BP est immergé dans le liquide, une boite de répartition sépare le flux de gaz en une multitude de bulles qui offrent une grande surface d'échange. La température des bulles de gaz diminue au contact du liquide.

Ces mêmes bouteilles intermédiaires sont équipées d'échangeurs immergés dans le liquide, l'échange ainsi obtenu augmente le sous-refroidissement du liquide HP. La température du liquide HP se situe à environ 15K au-dessus de la température de saturation du liquide MP contenu dans la bouteille. Ce cycle est détaillé dans le chapitre des circuits de base : cycle 5 (pages 18 et 19).

La différence entre la température du liquide HP et la température de saturation de la MP s'appelle l'approche.

Lorsque l'installation dispose de postes positifs, ceux-ci sont en liaison avec la bouteille intermédiaire.

Le niveau de liquide doit être constant, il existe 2 dispositifs pour assurer l'appoint en fluide frigorigène :

- les dispositifs indirects. Ces dispositifs agissent en capteurs d'informations qu'ils transmettent à un organe d'exécution (pages 34 et 35).
- les dispositifs directs. Ils assurent l'admission automatique du fluide frigorigène dans les évaporateurs ou dans les bouteilles séparatrices (pages 36 et 37,102 à 105).

Contrôleurs de niveau T.O.R.

Fonctions :

CN3 ⇨ LZAH

CN2 ⇨ LSH

CN1 ⇨ LZAL

CN3

24 volts

CN2

CN1

Dispositifs T.O.R.

24 volts

4

5

CN3

2

doc DANFOSS

1

CN3

4 3

5

2

f3

f2

f1

24 volts

fig.A

CN3

f3

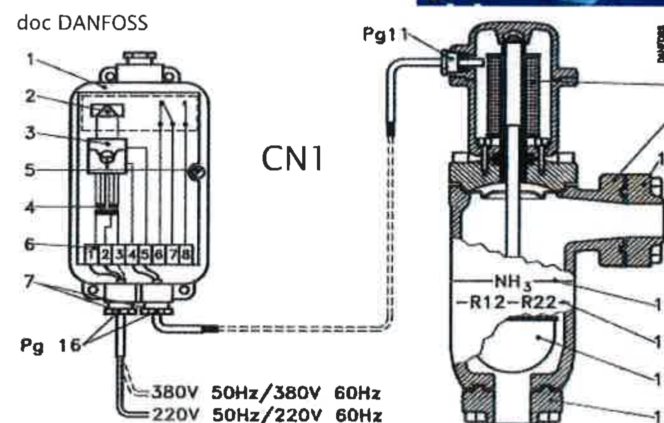
f2

f1

24 volts

fig.B





Les contrôleurs de niveau T.O.R.

Les 3 contrôleurs présentés sont équipés de contacts électriques inverseurs.
Ils assurent les 3 fonctions usuelles : niveau bas (LZAL), niveau de régulation (LSH) et le niveau haut (LZAH).
Les contrôleurs de niveau CN1 et CN2 sont constitués :

- ⇨ d'une capacité munie de 2 tubes qui assurent la liaison avec le fluide frigorigène,
- ⇨ d'un flotteur logé dans cette capacité, il suit les mouvements du liquide,
- ⇨ d'une tige solidaire du flotteur fixée à sa partie supérieure, c'est elle qui va transmettre les mouvements du liquide à un capteur électromécanique ou à un dispositif électronique,
- ⇨ d'un tube amagnétique qui assure l'étanchéité entre l'intérieur et l'extérieur du circuit.

Le contrôleur CN1 est dénommé régulateur électronique. Un boitier (1) contient les composants électroniques ainsi que le contact inverseur. Le corps du flotteur est surmonté d'un carter contenant une bobine (8). La tige solidaire du flotteur (10) agit comme un noyau dans la bobine et fait varier la tension qui est mesurée par l'ensemble électronique.
Une tension préréglée fait permuter les contacts.
Le boitier est équipé de 2 potentiomètres (non visibles sur le document) qui permettent à distance de régler le niveau de liquide ainsi que le différentiel. Ce contrôleur n'est plus fabriqué, mais il équipe bon nombre d'installations. Son substitut correspond au descriptif du CN2.

Le contrôleur CN2 est surmonté d'un boitier (1) qui contient l'ensemble électromagnétique protégé de l'oxydation par un gaz neutre. Lorsque le niveau monte, un cylindre métallique solidaire du flotteur coulisse dans le tube, à son approche l'étrier aimanté (2) est attiré, il pivote autour de son axe et ainsi inverse le contact électrique (3).

Le contrôleur CN3 est un contrôleur thermostatique de niveau.
Le train thermostatique (1) est raccordé au soufflet (2).
Une résistance, sous tension permanente (3), est insérée dans le bulbe (4). L'ensemble génère la force F1.
La tension du ressort détermine le fluide frigorigène de l'installation, c'est la force F2.
La prise de pression de la phase gazeuse est transmise au soufflet (5), c'est la force F3.

Principe de fonctionnement :
Sur la fig. A le bulbe est émergé, la capacité thermique de la résistance est supérieure à celle du gaz :

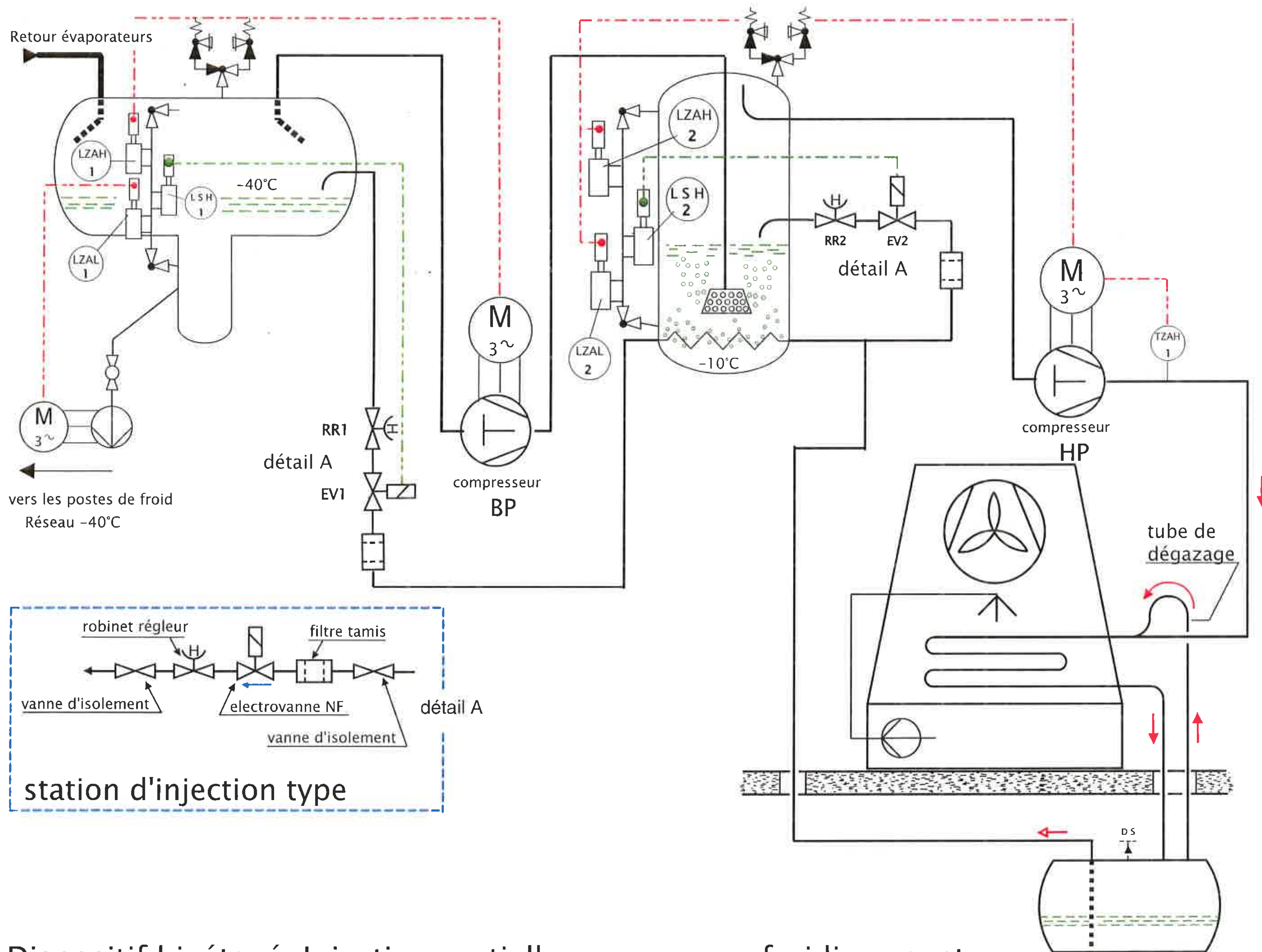
- ⇨ la force F1 est prépondérante.

Sur la fig. B le bulbe est immergé, la capacité thermique de la résistance est insuffisante par rapport à celle du liquide.
Le bulbe se refroidit, la pression baisse dans le train thermostatique, les forces F2 et F3 deviennent prépondérantes :

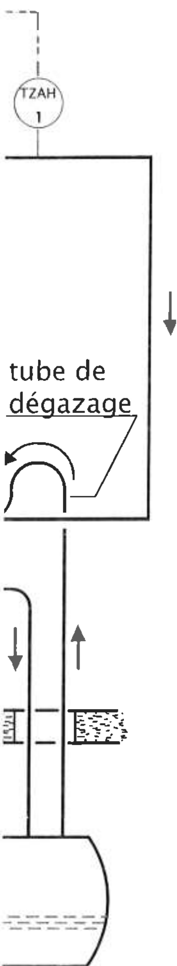
- ⇨ le contact change d'état.

La bouteille contient du liquide, il y a donc relation pression/température. A une augmentation de pression correspond une augmentation de température. Sur la fig. B une augmentation notable de la pression pourrait donner l'illusion que le bulbe est émergé.
La prise de pression et son action sur le soufflet (5) compensent les variations de pression dans la bouteille séparatrice.

Des détendeurs contrôleurs de niveau utilisent aussi cette technologie du bulbe réchauffé.



Dispositif bi-étagé. Injection partielle avec sous-refroidissement.



Dispositif bi-étagé. Injection partielle avec sous-refroidissement.

Présentation de l'installation.

L'installation est de type bi-étagée, c'est une injection partielle avec sous-refroidissement. L'étude correspond au cycle 5 traité dans les circuits de base (pages 18 et19). L'absence de charge thermique à l'étage MP permet d'utiliser un système booster ou compound.
Le fluide frigorigène est indéterminé.

Matériel de sécurité et de régulation.

- ⇨ Le contrôleur de niveau LZAL 1 intervient quand le niveau baisse. Il protège la pompe, il alerte aussi sur le niveau de fluide frigorigène dans la bouteille.
- ⇨ Le contrôleur de niveau LZAH 1 intervient quand le niveau monte.
  Il protège le(s) compresseur(s) d'un éventuel coup de liquide.
- ⇨ Le contrôleur de niveau LZAL 2 intervient quand le niveau baisse. Le manque de fluide frigorigène dans la bouteille ne permet pas la désurchauffe des gaz refoulés par le compresseur BP.
  Un thermostat de sécurité de fin de compression TZAH 1 assure la même fonction.
- ⇨ Le contrôleur de niveau LZAH 2 intervient quand le niveau monte.
  Il protège le(s) compresseur(s) d'un éventuel coup de liquide .
- ⇨ Le contrôleur de niveau LSH 1 met sous tension l'EV1 à la baisse de niveau dans la bouteille BP.
- ⇨ Le contrôleur de niveau LSH 2 met sous tension l'EV2 à la baisse de niveau dans la bouteille MP.
  Les robinets régleurs RR1 et RR2 créent une détente entre la HP et la BP ou MP.

Comment ajuster le débit du robinet régleur ?

L'ouverture du régleur doit assurer un débit d'injection :

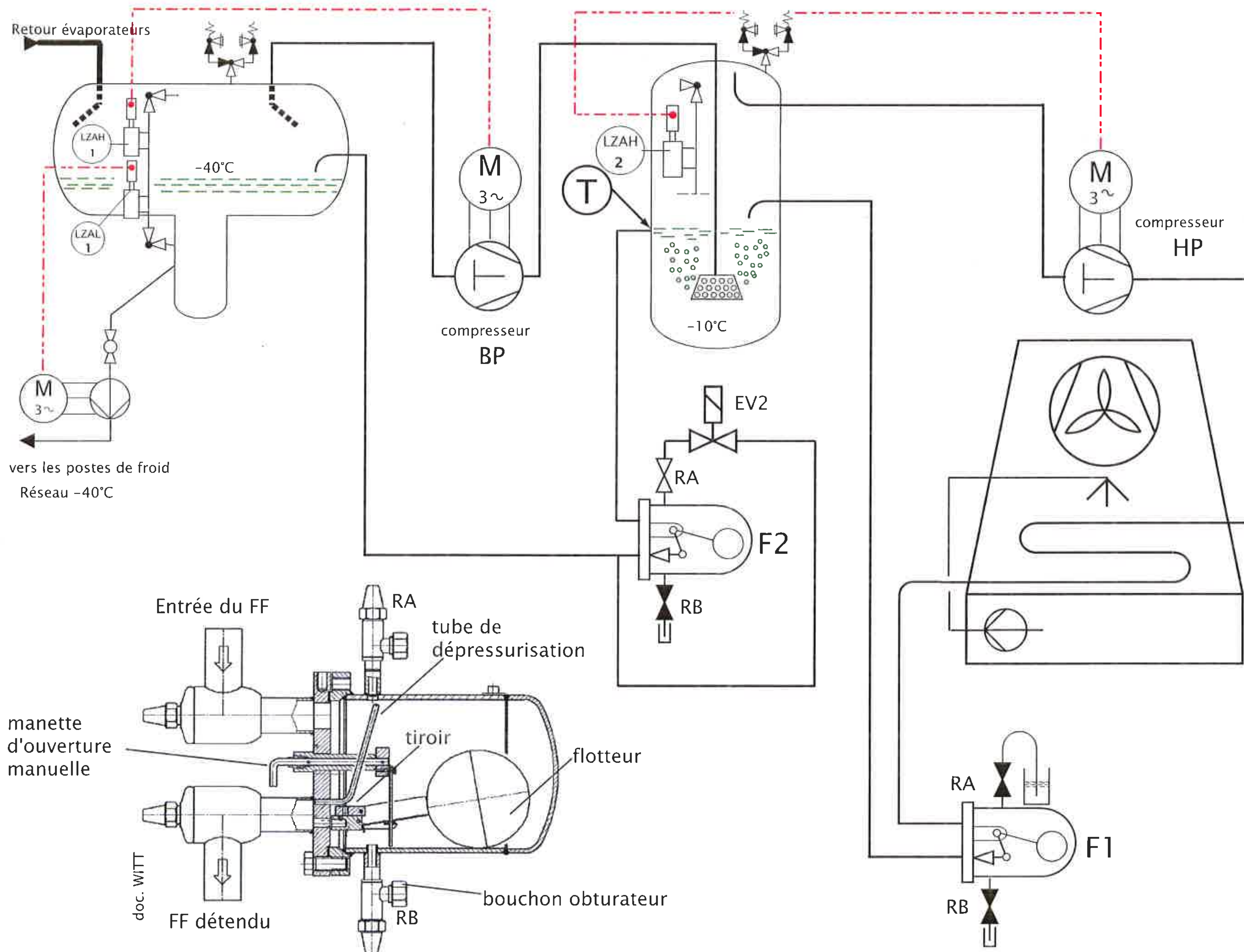
- ⇨ suffisant pour maintenir un niveau constant dans la bouteille séparatrice,
- ⇨ mais pas trop élevé car il occasionnerait des ouvertures/fermetures fréquentes de l'électrovanne.
  Les ouvertures répétées provoquent une usure prématurée de l'électrovanne.

Le réglage doit se faire avec la charge thermique maximum et si possible avec la HP minimum. Le réglage est optimum quand l'électrovanne est ouverte les 3/4 du temps de fonctionnement, la fermeture périodique prouve que le débit masse d'injection dans la bouteille est supérieur au débit masse aspiré.
Ce réglage correspond donc à environ 15 min. d'ouverture et 5 min. de fermeture de l'electrovanne.

Commentaires.

Ce système est moins employé car la masse de fluide frigorigène côté HP est importante du fait de l'utilisation d'un réservoir. Ceci est vrai en particulier avec l'ammoniac.

Un réservoir situé dans une salle des machines est soumis à la pression correspondant à la température ambiante. Cette pression peut être supérieure à la pression de condensation. Cette contre-pression empêchera le liquide de s'écouler naturellement du condenseur vers le réservoir. Le tube d'égalisation, situé à droite entre le réservoir et le refoulement du compresseur, permet d'équilibrer les pressions par un dégazage.



Dispositif bi-étagé. Injection totale.

Dispo
Présent
L'install
L'absen
Le F.F. e
Matérie
Régulate
L'installa
trouvent
Leur cor
fluide fr
Cette ré
Les cont
Fonctio
Le flotte
un tiroir
cet endr
Le tube
Ce déga
réduire l
Si cette
place (EV
Lors du
Les robin
Le robin
Le robin
L'ouvertu
à la char
Comme
⇨ un
⇨ pou
⇨ c'es
⇨ lors
En
*
*

ompresseur
HP

Dispositif bi-étagé. Injection totale avec flotteurs HP.

Présentation de l'installation.

L'installation est de type bi-étagée, c'est une injection totale. L'étude correspond au cycle N° 6 (pages 20 et 21).
L'absence de charge thermique à l'étage MP permet d'utiliser un système booster ou compound.
Le F.F. est indéterminé.

Matériel de régulation et de sécurité.

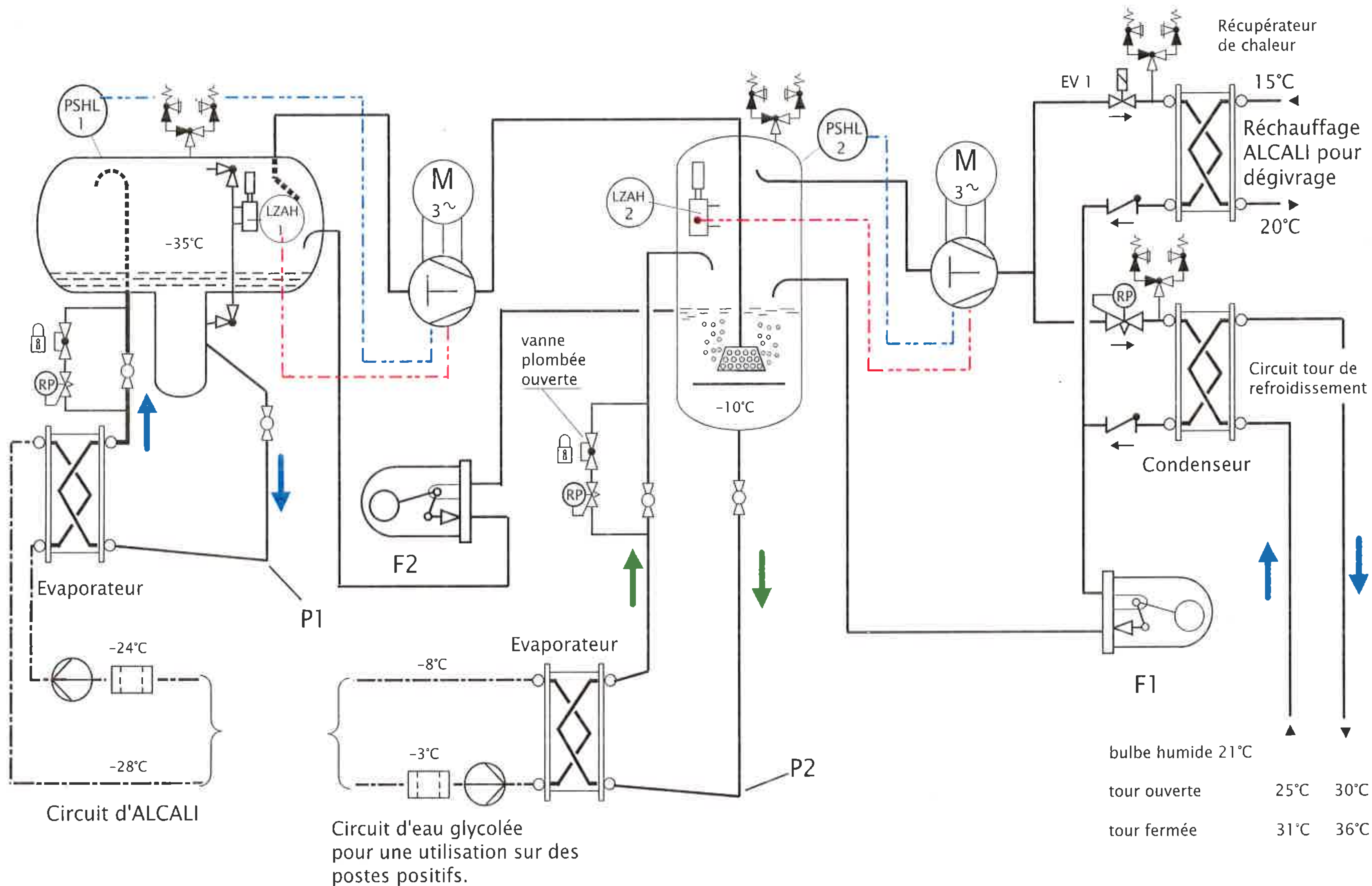
Régulateurs à flotteur HP.
L'installation est équipée de 2 régulateurs à flotteur HP, F1 et F2. Ils sont dénommés "flotteurs HP" bien qu'ils ne se trouvent pas toujours sur un circuit HP, c'est le cas de l'installation ci-contre.
Leur conception et leur fonctionnement sont simples, en outre ils permettent de réduire considérablement la charge de fluide frigorigène en supprimant le réservoir du circuit HP.
Cette réduction de charge a un impact sur la protection de l'environnement et répond à la réglementation sur l'ammoniac.
Les contrôleurs de niveaux LZAL 1, LZAH 1 et LZAH 2 ont les mêmes fonctions que celles décrites à la page précédente.

Fonctionnement.

Le flotteur est soulevé par le fluide frigorigène liquide provenant du condenseur ou de la bouteille MP. Le flotteur actionne un tiroir qui met en communication l'amont et l'aval du régulateur à flotteur. La chute de pression, détente, se produit à cet endroit.
Le tube de dépressurisation en liaison avec l'aval permet un dégazage permanent de la zone située au-dessus du flotteur.
Ce dégazage favorise l'écoulement du liquide vers le régulateur. Cette égalisation s'effectue aussi à l'arrêt, l'intérêt est de réduire la puissance absorbée par les moteurs au démarrage de l'installation.
Si cette égalisation n'est pas souhaitée, le tube de dépressurisation est obstrué, un tube et une électrovanne sont mis en place (EV2 sur F2).
Lors du démarrage de l'installation, l'EV2 est mise sous tension et l'on retrouve alors la fonction de dégazage.
Les robinets RA et RB sont utiles pour dégazer le régulateur lors d'interventions.
Le robinet RA est utile pour purger les incondensables du circuit HP manuellement ou avec un purgeur automatique.
Le robinet RB est utilisé pour la charge en F.F. de l'installation.
L'ouverture manuelle du régulateur s'obtient en orientant la manette vers le haut. Ce dispositif aide aussi au diagnostic ou à la charge en F.F.

Commentaires.

⇨ un flotteur HP ne peut alimenter qu'un seul poste de froid, bouteille séparatrice ou évaporateur,
⇨ pour obtenir le débit masse nécessaire, il est possible de mettre plusieurs flotteurs HP en parallèle,
⇨ c'est la position du tube T qui détermine la hauteur de liquide dans la bouteille MP,
⇨ lors de l'opération de remplissage en F.F. le technicien doit contrôler la masse qu'il introduit dans l'installation.
En effet, le surplus de F.F. vient se loger dans la dernière bouteille séparatrice avec comme conséquences :
  * une augmentation de la vitesse des gaz,
  * une réduction de la place disponible pour stocker du fluide frigorigène lors d'opérations de maintenance.



Dispositif bi-étagé. Injection totale. Alimentation des évaporateurs en régime gravitaire.

Dispositif bi-étagé. Injection totale. Alimentation des évaporateurs en régime gravitaire.

Présentation de l'installation.

L'installation est de type bi-étagée, c'est une injection totale.
Les charges thermiques à la BP et à la MP fluctuent indépendamment l'une de l'autre, seul un système booster convient.
Les 2 circuits sont équipés d'évaporateurs de type échangeurs à plaques. Ils sont alimentés en régime noyé gravitaire.
Le circuit à -28°C utilise de l'alcali, celui à -8°C de l'eau glycolée (MEG 30%).
La partie HP comporte 2 échangeurs à plaques : 1 condenseur et 1 récupérateur de chaleur.
Le condenseur est raccordé à une tour de refroidissement, le récupérateur de chaleur au réseau de réchauffage de l'alcali en vue du dégivrage des évaporateurs refroidisseurs d'air.
Cette partie de l'installation est traitée dans le chapitre des dégivrages (pages 62 et 63).

Matériel de régulation et de sécurité.

Régulateurs à flotteur HP, F1 et F2.
Les pressostats PSHL 1 et PSHL 2 sont des pressostats à zone neutre, ils participent à la régulation de puissance des compresseurs.
Les contrôleurs de niveau LZAH 1 et LZAH 2 ont des fonctions de sécurité identiques à celles décrites pages 34 et 35.

Fonctionnement.

Le pressostat à zone neutre est détaillé pages 182 et 183.
Sur un site de production, les charges thermiques ne sont pas constantes. L'installation doit permettre d'être au plus près des conditions contractuelles de fonctionnement, dans notre exemple : -35°C à la BP et -10°C à la MP. Pour atteindre ces points de fonctionnement, il faut adapter le(s) compresseur (s) à la charge thermique du moment.
Les compresseurs à vis ou à pistons possèdent des dispositifs de réduction de puissance, mécaniques et/ou hydrauliques. Ils font varier les débits volumes aspirés. La variation de vitesse des moteurs permet d'atteindre aussi cet objectif.

Situations envisagées :

- ⇨ l'étage HP peut fonctionner seul, c'est le cas lorsque le circuit alcali est à l'arrêt,
- ⇨ la mise en route de l'étage BP implique le fonctionnement de l'étage HP. En effet, c'est cet étage qui récupère l'énergie rejetée par l'étage BP. Dans la chaine de régulation, la moindre anomalie du circuit HP verrouille la totalité de l'installation.

Dégivrage : le réchauffage de l'alcali est obtenu en ouvrant le circuit de récupération à l'aide de l'EV1. Le réglage du régulateur amont favorise le passage des gaz HP dans le récupérateur de chaleur. La pression de refoulement augmente en même temps que la température de l'alcali, c'est donc le régulateur qui maîtrise cette pression de refoulement.

Commentaires.

L'emploi d'échangeurs à plaques réduit la quantité de fluide frigorigène, en particulier dans la partie HP du circuit.
Cette réduction est souhaitable avec l'ammoniac, toutefois, pour ce fluide il serait nécessaire d'ajouter des purges d'huile aux points P1 et P2.
Sur une installation équipée de capteurs de pression, le pressostat à zone neutre n'est plus utilisé. Une boucle analogique permet néanmoins de recréer le même principe de régulation.

Le dioxyde de carbone ou CO_2.

Le CO_2 est présent dans l'air que nous respirons dans des proportions de 0,03 à 0,06 % en volume.

Il est utilisé par toutes les industries et sous toutes ses formes, état gazeux, liquide et solide :

- pour le refroidissement. La détente du liquide à la pression atmosphérique produit de la neige carbonique qui, une fois compactée, est aussi appelée "carboglace". La sublimation de la neige carbonique permet d'absorber la chaleur et ainsi conserver ou protéger des produits alimentaires ou pharmaceutiques et ce à des températures constantes.

  Cette neige carbonique peut être utile dans les entrepôts frigorifiques lors d'une panne ou d'un arrêt programmé.

- pour réduire l'oxygène lors d'incendie par étouffement. Présent dans les extincteurs, il convient pour les feux en présence d'un conducteur électrique sous tension et pour les feux de classe B (hydrocarbures, huiles, alcools, peintures, plastiques ...).
- pour améliorer les procédés de soudage. Il est utilisé seul ou en mélange avec de l'argon par les postes semi-automatiques. Alors, il favorise la pénétration (procédé MAG).
- pour gazéifier des boissons ou pour inerter des produits de l'agro-alimentaire.

Le CO_2 est prélevé sur des sources naturelles situées dans les régions volcaniques. Pour l'industrie frigorifique, il est prélevé sur les effluents gazeux des industriels, en particulier sur les sites producteurs d'ammoniac ! Sa grande disponibilité en fait un fluide peu coûteux.

A la pression atmosphérique, le CO_2 n'existe pas à l'état liquide.

Pour l'industrie frigorifique le CO_2 est déshydraté pour atteindre un niveau de pureté de 99,995 % et devient du R 744.

Le CO_2 utilisé comme fluide frigorigène c'est le R 744.

Le dioxyde de carbone était avec l'ammoniac et le SO_2 un des fluides "historiques". Très largement utilisé dans le transport maritime, il est délaissé dans les années 60 au profit des CFC et HCFC. Aujourd'hui les préoccupations environnementales en font un "fluide d'avenir".

Potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone, ODP = 1; potentiel d'effet de serre global à 100 ans, (kg eq. CO_2) = 1).

Le R 744 est dans le groupe A1, il est donc considéré comme non toxique et non inflammable.

La miscibilité de l'huile et du CO_2 est bonne. L'huile utilisée est de l'huile POE. Les matériaux usuels sont compatibles avec le R 744.
La fonte, l'acier, le cuivre et l'inox constituent donc les équipements. Les joints des régulateurs et des compresseurs font l'objet d'une préconisation du constructeur.
Des détecteurs électroniques appropriés permettent le contrôle de l'étanchéité des circuits.

Risques liés à l'utilisation du CO_2 et du R 744.

Le CO_2 est inodore et incolore, il n'est pas intrinsèquement toxique, mais néanmoins dangereux lorsque sa concentration augmente car il diminue la teneur en oxygène de l'air inspiré. Teneur normale en O_2 : 21 %.

Les effets observés sur l'homme lors d'expositions occasionnelles :

- à partir de 2 %, troubles respiratoires,
- vers 5 %, sensation de vertiges et effet cardiovasculaire,
- vers10 %, troubles visuels et hypertension artérielle,
- vers 20 % troubles graves entraînant le coma ou la mort.

En cas de fuite, les mesures avec un oxygénomètre* et un contrôleur de CO_2 s'imposent avant toute intervention. Mais la meilleure protection est l'usage d'un A.R.I. sous contrôle d'une deuxième personne informée des risques encourus (pages 212 et 213).

Le CO_2 est plus lourd que l'air, sa densité de 1,53 le rend particulièrement dangereux aux points bas des installations (fosses, sous-sol, etc.). Les détections et les extracteurs sont situés aux points bas des zones à risques, la mise en route des extracteurs et des alarmes intervient au seuil de 1 % .

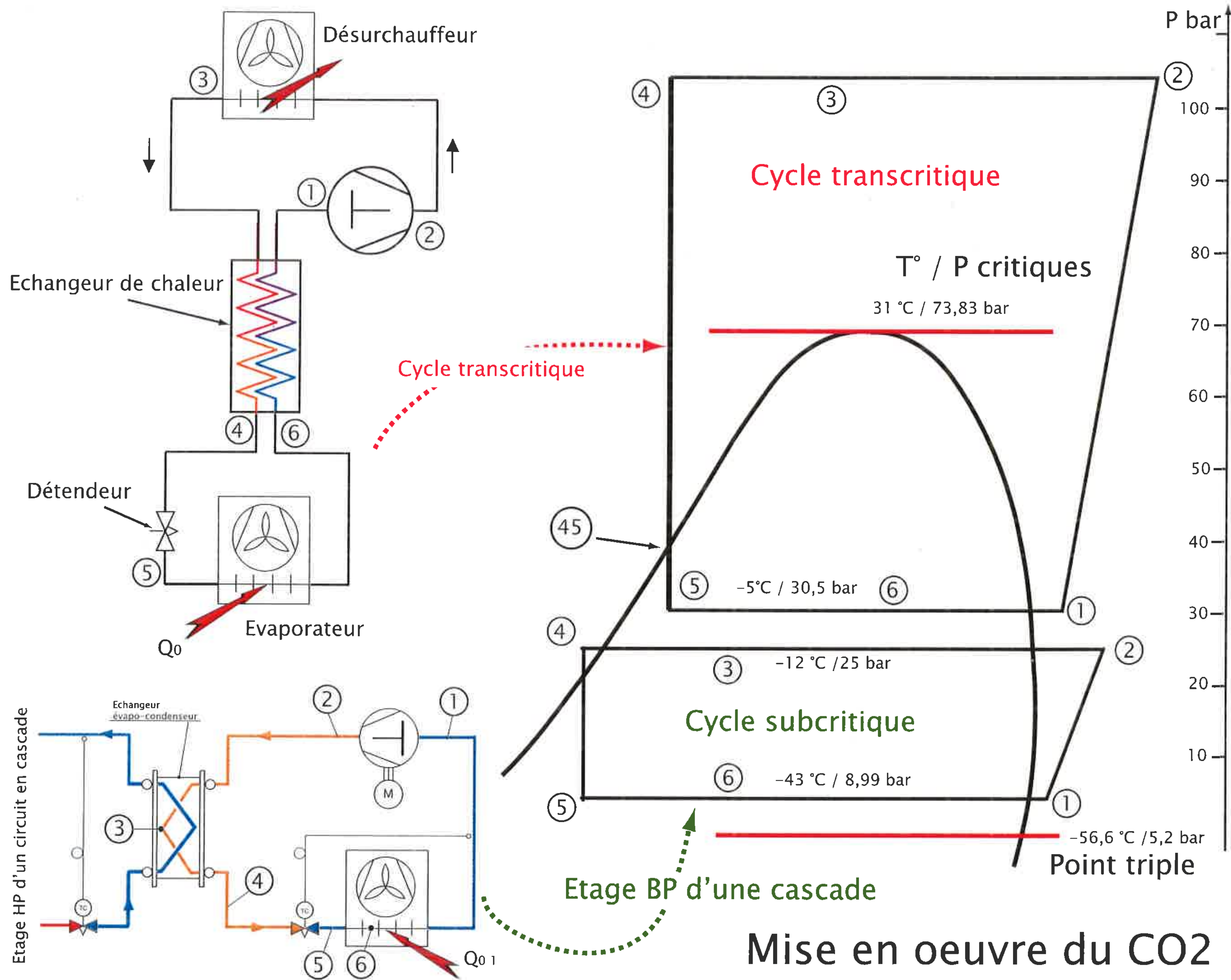
Comme tous les fluides frigorigènes, il peut occasionner des brûlures cutanées ou oculaires.

Pour éviter des ruptures, le matériel d'intervention doit être adapté à des pressions élevées et protégé contre les surpressions (manomètres, tube de charge avec protection anti-fouet, soupapes de sécurité, etc.).

Equipement d'intervention : lunettes de sécurité, gants cryogéniques, détecteur portatif, oxygénomètre*, etc.

*oxygénomètre : appareil pour vérifier si la teneur en oxygène est supérieure à 19 %.

Teneur normale en O_2 : 21 %.


Désurchauffeur
Echangeur de chaleur
Détendeur
Evaporateur
Q0
Cycle transcritique
Echangeur évapo-condenseur
M
Q0 1
Etage HP d'un circuit en cascade
P bar
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
Cycle transcritique
T° / P critiques
31 °C / 73,83 bar
45
-5°C / 30,5 bar
-12 °C /25 bar
Cycle subcritique
-43 °C / 8,99 bar
-56,6 °C /5,2 bar
Point triple
Etage BP d'une cascade
Mise en oeuvre du CO_2

Utilisation du R 744 dans les installations frigorifiques.

Cycle transcritique. Le choix de ce cycle s'impose dès lors que les conditions usuelles de condensation ne sont pas réunies. En effet, de l'air ambiant à 30 °C génère une pression de condensation de 45 °C si le Δt choisi pour le calcul est de 15 K. Dans ces conditions, la valeur de TK est supérieure à la température critique, ceci fait apparaître les limites d'utilisation du R 744 en cycle usuel. Les pays froids réunissent les conditions pour développer des cycles en booster transcritiques. Ce qui est remarquable dans ce cycle, c'est la liquéfaction du fluide après la détente, point 45.

L'intégration du R 744 dans un système en cascade permet de limiter les pressions.

Cycle subcritique. Avec ce cycle, les avantages du R 744 sont bien exploités.

Le R 744 possède une production frigorifique volumétrique importante, ce qui implique :

- des débits volume balayés par les compresseurs plutôt faibles,
- de bons rendements volumétriques dûs à des taux de compression réduits,
- des réseaux de tuyauteries de faibles sections et, par voie de conséquence, une réduction de l'isolation.

Remarque : en mode dégradé, la remontée en pression doit être envisagée, aussi des soupapes judicieusement placées ou des groupes de maintien en pression limitent ou évitent le rejet du R 744 hors de l'installation.

Pression particulière. Point triple élevé : 5,2 bar.

Abaissé à cette pression, du R 744 liquide produit de la neige carbonique qui peut obstruer les canalisations.

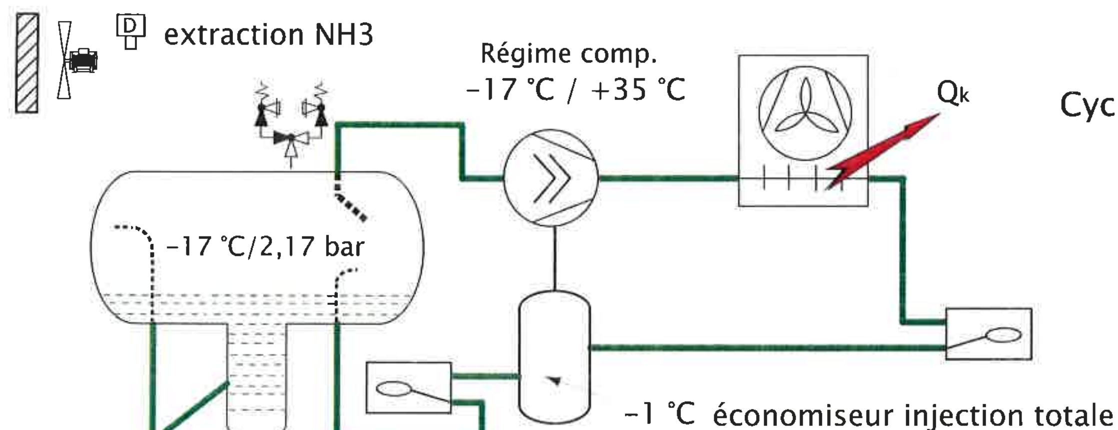
La mise en service ou les opérations de maintenance sont ponctuées d'étapes indispensables pour éviter cette situation :

- ↳ s'assurer que le R 744 est en phase gazeuse, éventuellement chauffer sans flamme les composants à démonter (déshydrateurs, vannes, etc.),
- ↳ après remontage, effectuer un tirage au vide,
- ↳ charger en PHASE GAZEUSE jusqu'à 7/8 bar, contrôler l'étanchéité, poursuivre la charge en liquide,
- ↳ porter une attention toute particulière au réglage des sécurités basses pressions de l'équipement.

Les producteurs de R 744 proposent des bouteilles chargées en gaz ou des bouteilles disposant de 2 vannes de soutirage, une pour la phase liquide, l'autre pour la phase gazeuse.

DESHYDRATATION DES CIRCUITS. Des traces d'humidité en mélange avec le R 744 et les huiles provoquent l'oxydation des circuits. Pour éviter ce problème, la déshydratation doit être effectuée à l'identique des circuits employant des HFC.

Le mélange d'ammoniac et de CO_2 génère des sels d'ammonium qui corrodent les circuits et obstruent les vannes.



Cascade R 744/NH_3

Cycle subcritique ou sous-critique

GMP : groupe de maintien en pression
Ce groupe autonome évite la montée en pression de la bouteille BP lors de l'arrêt des compresseurs.
Cet équipement au R 404A fonctionne à un régime de -30 / +40 °C.

Le dégivrage des tunnels s'effectue selon la technologie décrite dans le chapitre des dégivrages "gaz chauds".

Le fluide de l'étage HP, ici de l'ammoniac, peut être remplacé par un HFC ou un frigoporteur.

évapo-condenseur ou liquéfacteur

Régime comp.
-43 °C / -12 °C

-17 °C

GMP

-43 °C

Tunnels - 37°C

Source de chaleur

Décocteur

-43 °C/8,99 bar

Qo

Qo

-43 °C

extraction CO2

Circuits

NH_3

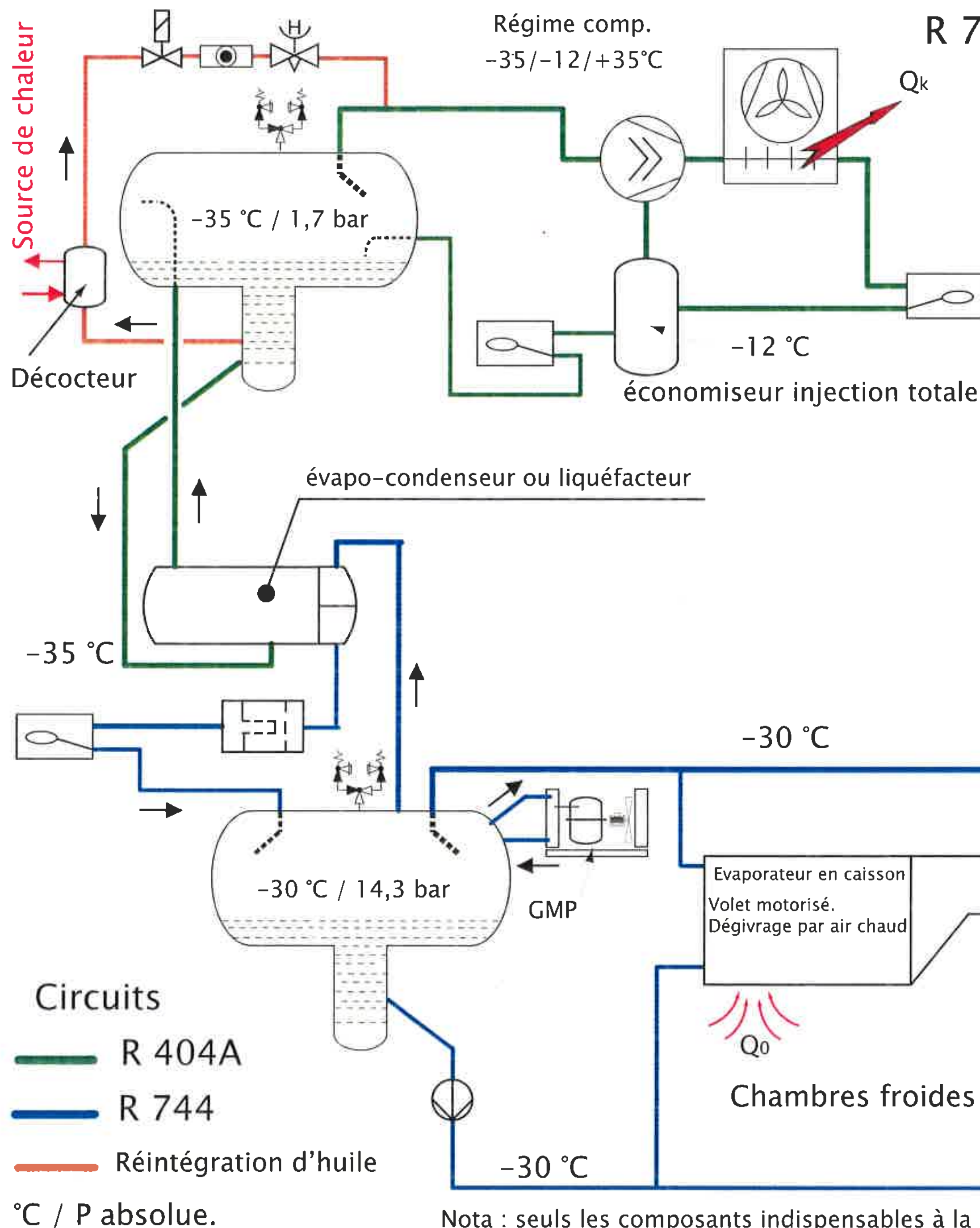
R 744

Réintégration d'huile

°C / P absolue.

Nota : seuls les composants indispensables à la compréhension du sujet traité sont représentés.

R 744 utilisé comme frigoporteur.



A l'étage BP, cette conception n'utilise pas de compresseur, il n'y a donc pas d'huile en recirculation.

GMP : groupe de maintien en pression. Ce groupe autonome évite la montée en pression de la bouteille BP lors de l'arrêt de l'étage HP. Cet équipement au R 404A fonctionne à un régime de -20 °C/+40 °C.

Les évaporateurs sont intégrés dans des caissons isothermes, le dégivrage se fait par air chaud à l'aide d'un caloporteur ou de résistances électriques.

L'utilisation du R 404A à -12°C est envisageable à partir de la bouteille "éco" pour le refroidissement d'eau glycolée ou d'alcali.

Nota : seuls les composants indispensables à la compréhension du sujet traité sont représentés.

Notes personnelles

Les circuits de dégivrage.

Les dégivrages.

La formation du givre.

La vapeur d'eau contenue dans l'air se condense, puis congèle au contact d'un évaporateur dont la surface est ≤ à 0°C.
Cette vapeur d'eau est issue pour une grande partie :

- des ouvertures de portes,
- de l'humidité contenue dans les denrées.

Le givre ainsi formé sur les ailettes de l'évaporateur réduit :

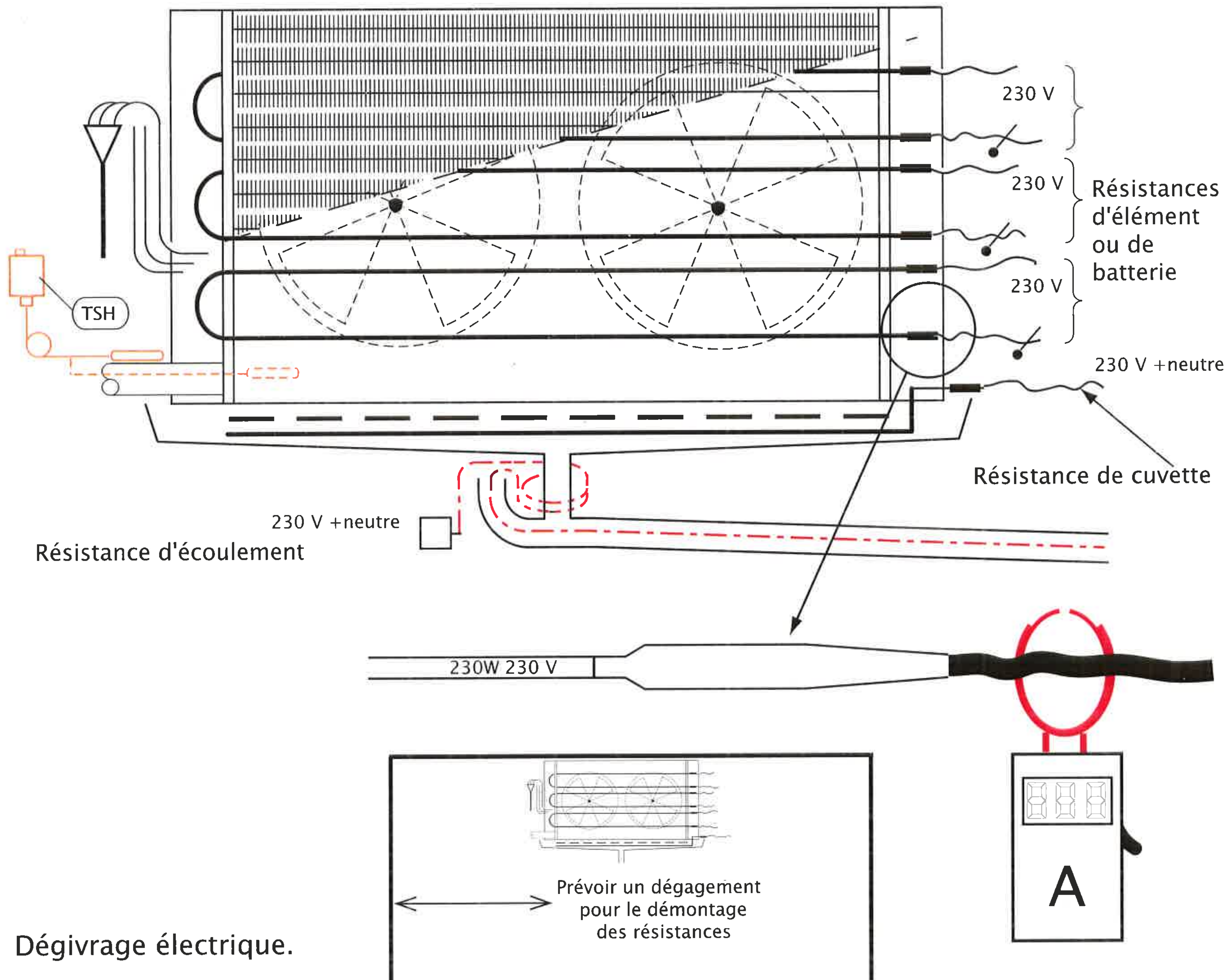
- le coefficient d'échange thermique K $(Q0 = K.S.\Delta\theta)$,
- le débit masse d'air qm $(Qo = qm\,.\,cm\,.\,\Delta\theta)$.

Ceci se traduit par une baisse de la température d'évaporation (θ_0) qui modifie les paramètres de fonctionnement :

- le taux de compression augmente, le rendement volumétrique diminue, le temps de fonctionnement de l'installation s'accroît,
- la température de l'ambiance et l'humidité relative augmentent car la température du givre en périphérie est plus importante,
- un "coup de liquide" est à redouter avec un évaporateur muni d'un détendeur thermostatique.

Pour faire fondre cette glace, divers moyens sont à notre disposition :

- pour les enceintes positives, il suffit de forcer la ventilation ou d'arrêter l'installation, c'est ce qui se pratique pour les réfrigérateurs ménagers,
- pour les températures négatives, les moyens sont :
  - le dégivrage électrique,
  - le dégivrage par réchauffage de l'air,
  - le dégivrage par inversion de cycle,
  - le dégivrage par gaz chaud,
  - le dégivrage en réchauffant le frigoporteur (eau glycolée ou alcali).



Dégivrage électrique.

Dégivrage électrique.

Des éléments chauffants et métalliques souvent en forme de U sont insérés dans les évaporateurs, on les appelle : résistances.

Ces résistances sont placées dans des gaines ou plus fréquemment directement dans les ailettes qui sont percées.

L'équipement standard comprend :

- les résistances d'élément ou de batterie,
- la ou les résistances de cuvette ou d'égouttoir. Elles sont solidaires d'une plaque métallique pour répartir la chaleur,
- la résistance d'écoulement.
  Suivant le type d'installation, elle peut rester en service permanent et est souvent alimentée en monophasé.

Pour les autres résistances, le raccordement se fait en montage étoile. Le point commun doit être raccordé au neutre afin d'assurer la bonne tension aux bornes de toutes les résistances. Cette précaution évite une surtension si une des branches est défaillante.

Toutes les résistances ont leurs caractéristiques gravées sur la partie métallique ex : 230 Watt 230 volts.

Ces indications permettent de vérifier la compatibilité avec le réseau, le type de couplage ainsi que l'équilibre sur chacune des phases.

Pour vérifier le bon état d'une résistance, il faut vérifier la tension et l'intensité absorbée. Dans notre exemple, l'intensité serait de 1A.

Une résistance absorbe son intensité nominale ou n'absorbe rien. Il est donc aisé de tester son bon fonctionnement.

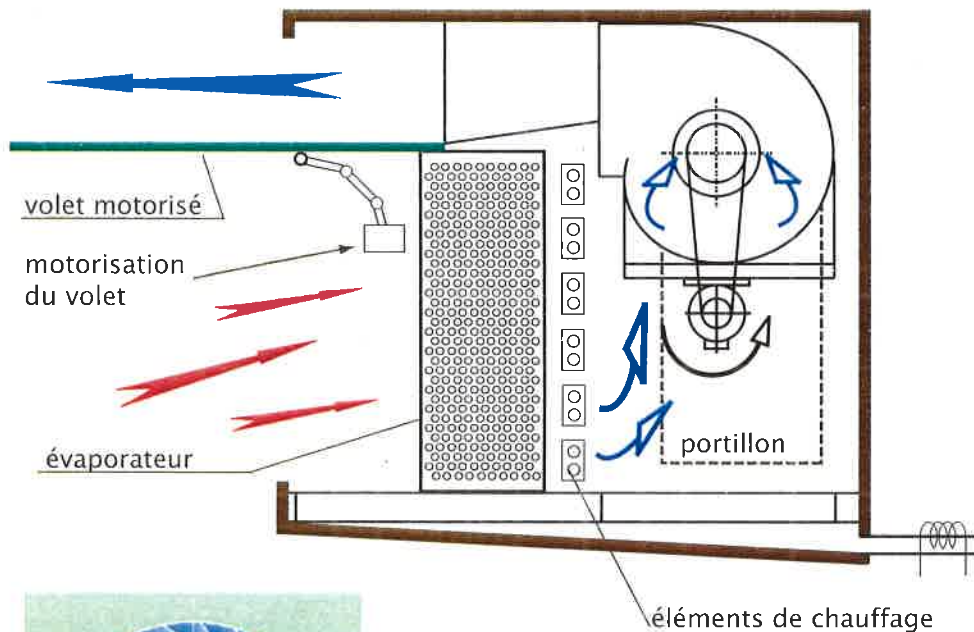
Important avant de retirer une résistance défectueuse, n'oubliez pas de fixer un tire-fil ou passe-fil au bout du câble!

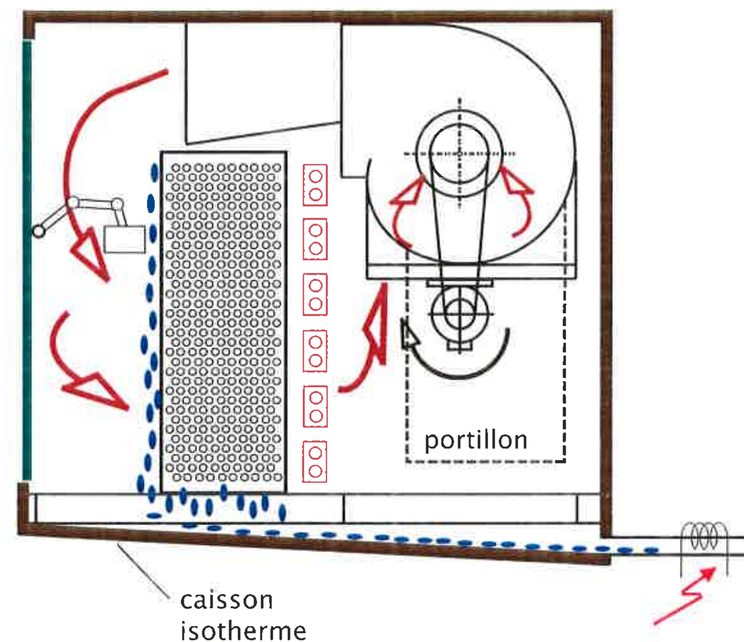
Le "pump down" permet de vaporiser une partie du fluide frigorigène.

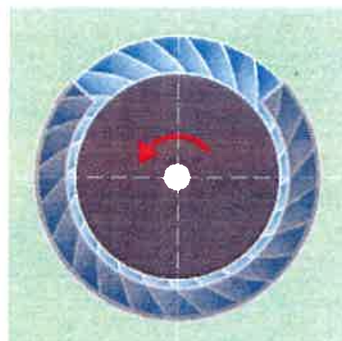
L'égouttage c'est du temps laissé aux gouttes pour se regrouper et tomber dans l'égouttoir.

La fixation c'est la congélation des dernières gouttes d'eau. A la mise en service des ventilateurs, la projection d'air humide est évitée.

Séquences d'un dégivrage électrique						
Recepteurs	Marche froid	"pump down"	Dégivrage	Egouttage	Fixation	Marche froid
Compresseur	1	1	0	0	0	1
Electro-vanne	1	0	0	0	1 ou 0	1
Ventilateur évaporateur	1	1	0	0	0	1
Résistances de batterie	0	0	1	0	0	0
Résistance d'écoulement	1 ou 0	1 ou 0	1	1	1 ou 0	1 ou 0






ventilateur à action


ventilateur à réaction

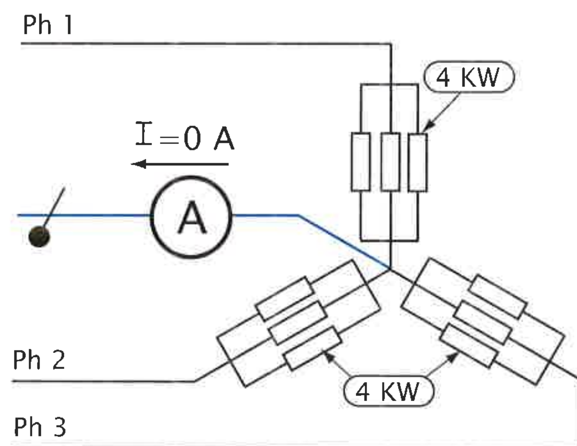


Fig. A

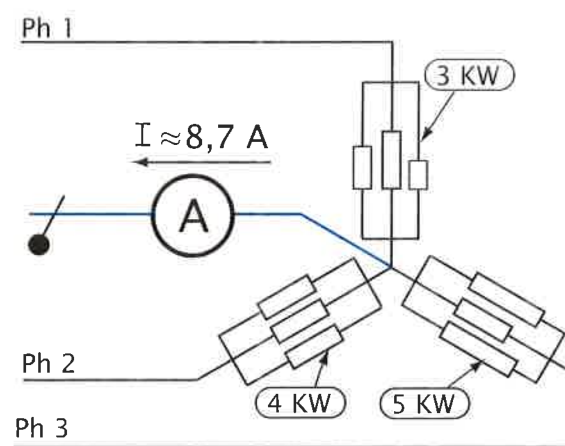


Fig B

Dégivrage par air chaud.

Dégivrage par air chaud.

L'évaporateur est intégré dans un caisson isotherme.

Un ou plusieurs ventilateurs centrifuges propulsent l'air dans la chambre froide.

Pour obtenir une projection importante de l'air dans la chambre froide, des ventilateurs à action sont utilisés.

Un volet isotherme est motorisé par un motoréducteur ou par un vérin électrique. Lorsqu'il est ouvert, il canalise l'air aspiré et refoulé.

Pendant le dégivrage, il se ferme, dissociant ainsi l'évaporateur de la chambre froide.

La source de chaleur est apportée par des résistances électriques ou un faisceau de tubes dans lequel circulent : du gaz chaud, de l'eau glycolée chaude ou de l'alcali chaud (2).

Lors du dégivrage, les ventilateurs sont en service, mais pour éviter une trop forte pression sur le volet, le sens de rotation est inversé.

L'inversion du sens de rotation ne change pas le sens de circulation de l'air, c'est une particularité du ventilateur centrifuge.

Un moteur à 2 vitesses ou un variateur de vitesse est utilisé. Un portillon permet d'accéder pour les opérations de maintenance.

La séquence décrite correspond à une installation en régime noyé, par pompe . Ceci explique l'absence de "pump down".

Séquences de dégivrage par air chaud

Recepteurs	Marche froid	Pause AV dégi.	Dégivrage	Egouttage	Mise en T°(1)	Pause après dégi.	Marche froid
Electrovannes	1	0	0	0	1	1	1
Ventilation	1	0	1 inversée	0	1 inversée	0	1
Volet	ouvert	Fermeture	Fermé	Fermé	Fermé	ouverture	Ouvert
Apports de chaleur (2)	0	0	1	0	0	0	0

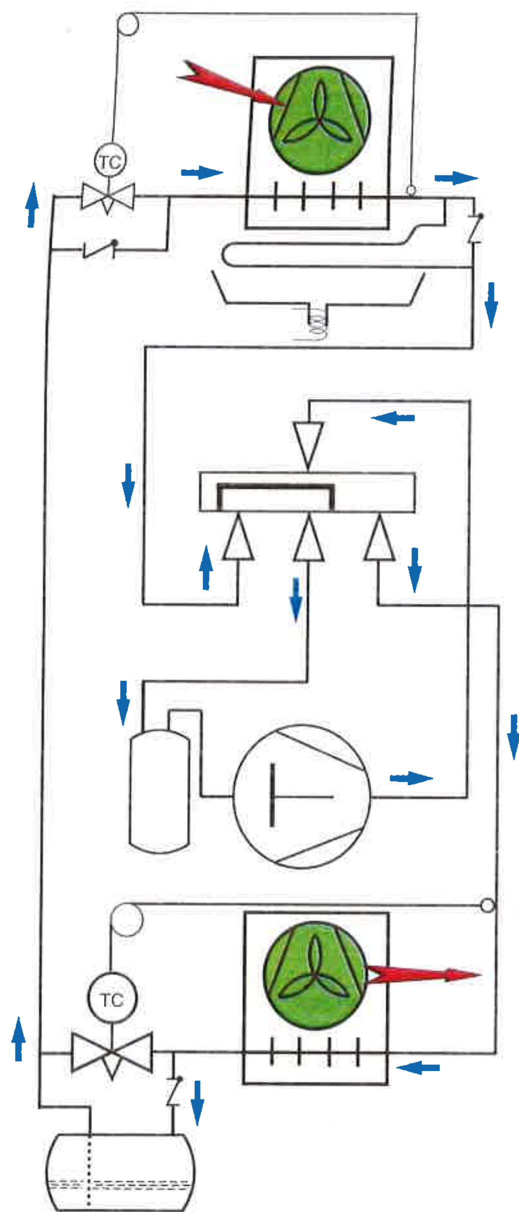
(1) quand la température dans le caisson est proche de la T° de la chambre froide, le volet s'ouvre.
Cette programmation évite la propagation d'air chaud et humide dans la chambre froide.

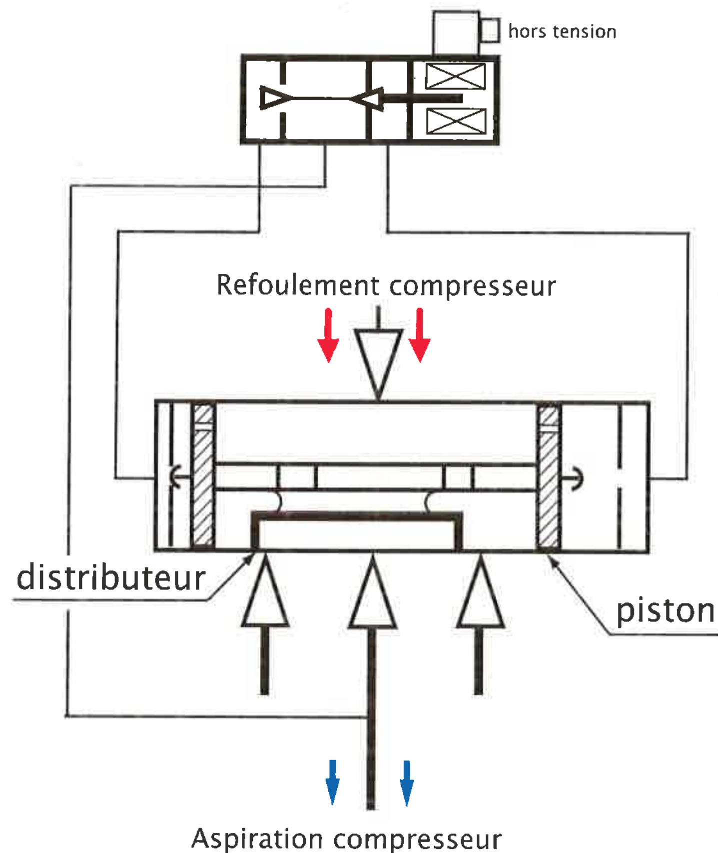
Commentaires sur le couplage utilisé pour le raccordement des résistances de chauffage.

Le montage de la figure A est équilibré car les résistances sont identiques. L'intensité dans le fil de neutre est égale à 0 A.

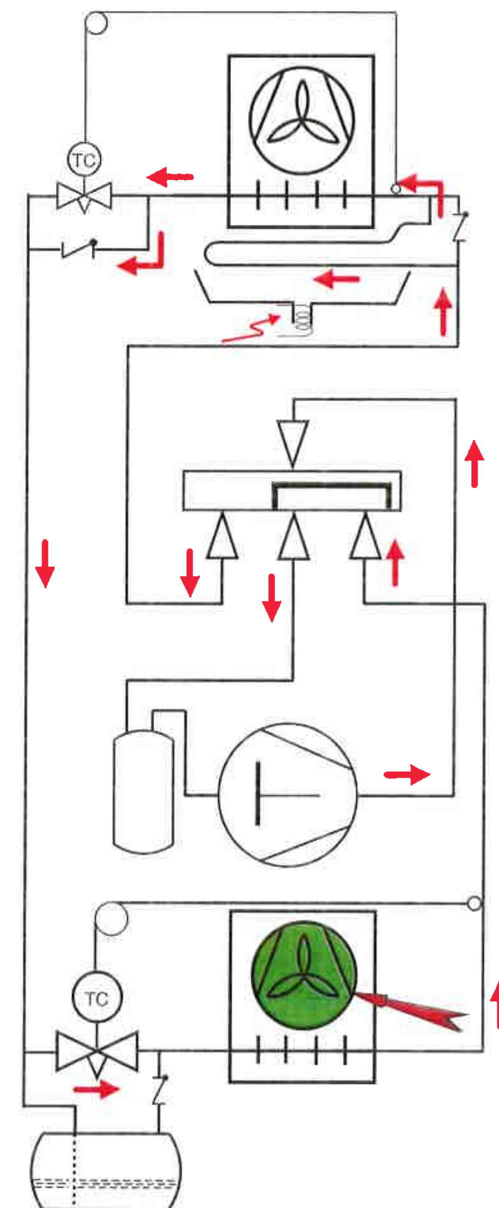
Le montage de la figure B est déséquilibré. L'intensité dans le fil de neutre est d'environ 8,7A.

L'absence du neutre occasionnerait une surintensité dans une branche et une destruction des résistances.





Détail de la vanne 4 voies et de son pilotage



Inversion de cycle

Marche froid  Chambre froide négative  Dégivrage

Refroidissement local  Climatiseur ou pompe à chaleur  Chauffage local

Dégivrage par inversion de cycle.

La dénomination de dégivrages "thermodynamiques" convient bien aux dégivrages par inversion de cycle et par gaz chaud.
Les 2 dégivrages utilisent la chaleur contenue dans les gaz refoulés par le compresseur. Cette chaleur latente de condensation utilisée pour la fusion du givre offre l'avantage de se diffuser de l'intérieur des tubes vers l'extérieur. L'efficacité est très grande, la glace se détache des tubes et tombe dans la cuvette qui est préalablement réchauffée.

L'inversion de cycle est assez peu utilisée pour le dégivrage de chambres froides, par contre ce procédé est d'usage courant pour les climatiseurs ainsi que pour les pompes à chaleur. Selon le cycle en cours, une vanne 4 voies change la destination du fluide frigorigène et ainsi le rôle des échangeurs.
Cette vanne possède 2 pistons solidaires du distributeur ou tiroir. Ils se déplacent sous l'effet des pressions injectées par l'électrovanne. Le distributeur ne possède que 2 positions.
Une position refroidissement qui correspond à la marche froid d'une chambre froide ou à la situation "été" d'un climatiseur.
Une position chauffage qui correspond au dégivrage de la chambre froide ou à la situation "hiver" d'un climatiseur.
Vous observerez la présence d'une bouteille anti-coup de liquide en amont du compresseur. Celle-ci est indispensable pour le protéger au moment des changements de cycles. En effet, l'échangeur qui permute en évaporateur peut contenir trop de fluide !
Le détendeur ne rétablira la bonne surchauffe que quelques minutes plus tard.

Refroidissement

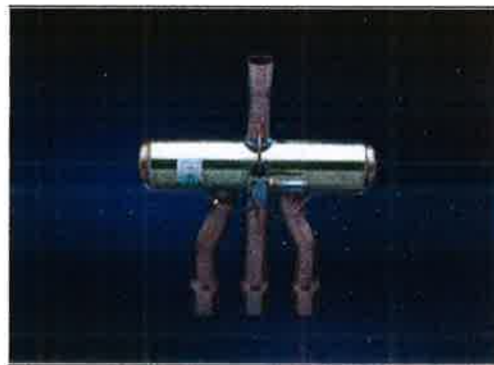
Les flèches bleues indiquent le sens de passage du fluide frigorigène.

Le distributeur est positionné à gauche.

L'évaporateur capte l'énergie du local à refroidir.

Le condenseur rejette cette énergie dans l'air ou l'eau.

Nota : remarquez la mise en place de 3 clapets anti-retour.

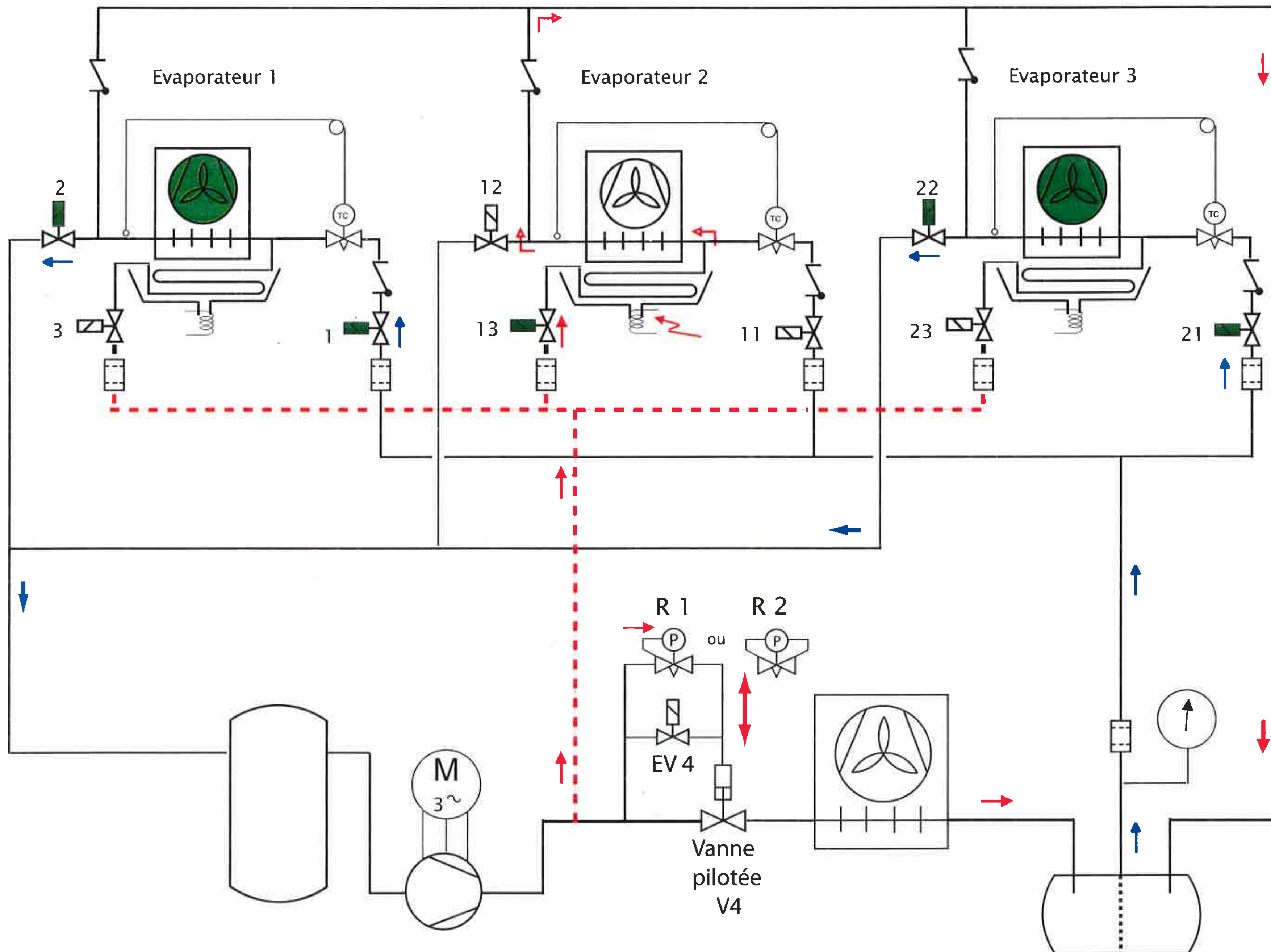


Vanne 4 voies

Doc. DANFOSS

Chauffage

Les flèches rouges indiquent le sens de passage du fluide frigorigène.
Le distributeur est positionné à droite.
Le condenseur prend la fonction de l'évaporateur, maintenant, c'est lui qui capte l'énergie à l'extérieur par l'intermédiaire de l'air ou de l'eau.
Par contre, l'évaporateur a la fonction d'un condenseur.
La chaleur contenue dans le fluide va faire fondre la glace ou chauffer le local.



Dégivrage par gaz chaud . Installation à détente directe.

Dégivrage par gaz chaud. Installation à détente directe.

Les similitudes entre le dégivrage par inversion de cycle et dégivrage par gaz chaud ont été décrites à la page précédente.

Composants du circuit à détente directe :

- ❄ 3 évaporateurs refroidisseurs d'air,
- ❄ 3 électrovannes départ liquide (1, 11 et 21),
- ❄ 3 électrovannes d'aspiration (2, 12 et 22),
- ❄ 3 électrovannes d'injection de gaz chaud (3, 13 et 23),
- ❄ 1 vanne à servocommande V4.
  - en marche froid, l'électrovanne EV4 est sous tension, la vanne V4 est ouverte,
  - pendant le dégivrage, l'EV4 est hors tension, le régulateur R1 ou R2 fait moduler la vanne V4.

La méthode consiste à dégivrer un évaporateur, ici l'évaporateur N°2, alors que les 2 autres sont en production de froid.

Les gaz produits par les 2 évaporateurs seront utilisés pour le dégivrage. Les gaz chauds circulent en premier lieu dans l'égouttoir, puis traversent l'évaporateur, c'est là qu'ils se condensent en cédant leur chaleur aux tubes givrés. Le liquide ainsi formé, "condensat", va par différence de pression réintégrer le réservoir. Remarque : les condensats sont fortement sous-refroidis.

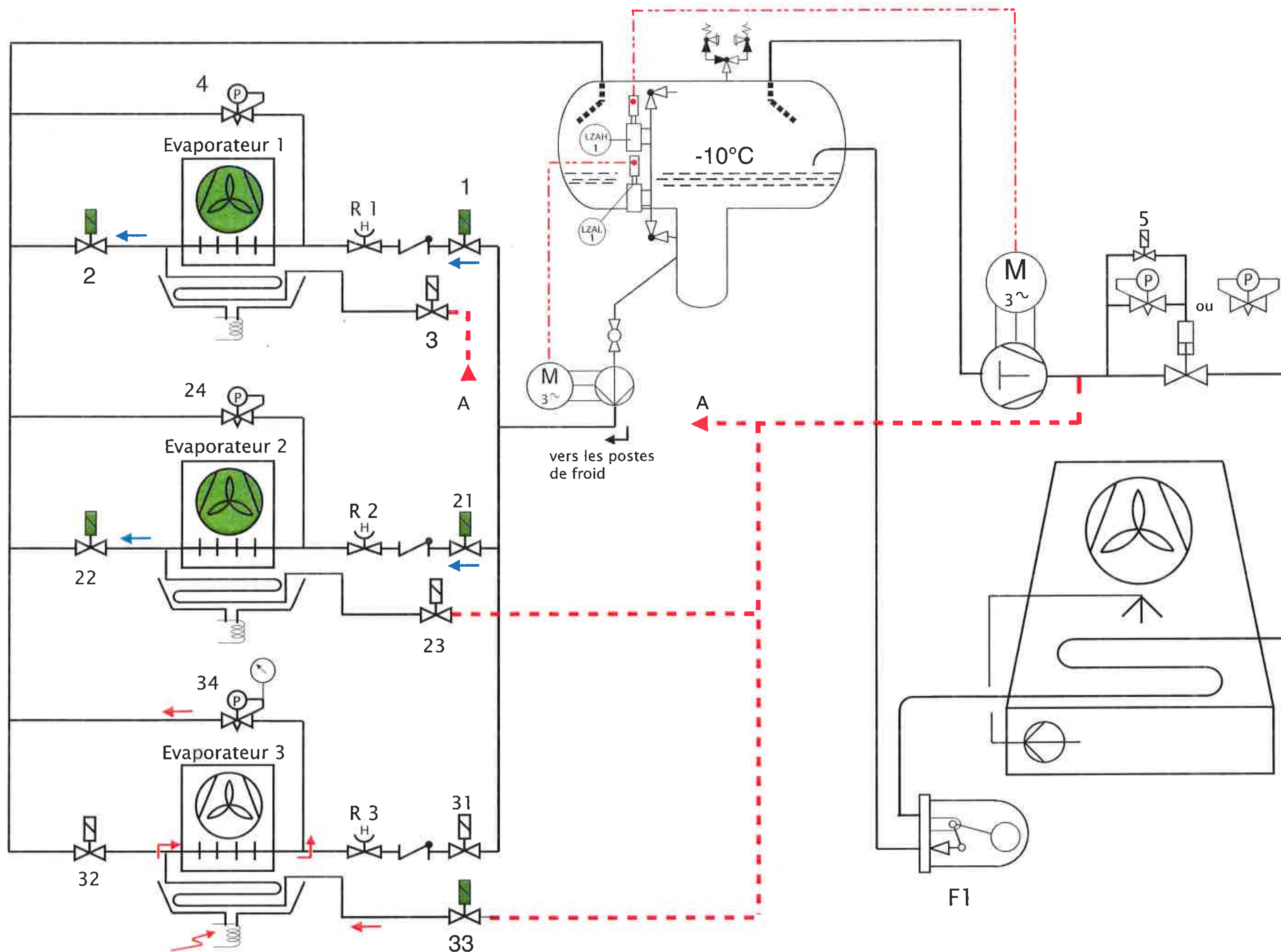
- Pour assurer un retour des condensats vers le réservoir, il faut que leur pression soit supérieure à la pression régnant dans celui-ci.
- La pression d'injection des gaz chauds doit être > aux pertes de charge dans le circuit de dégivrage.
- C'est le rôle du régulateur de créer artificiellement cette pression de refoulement. En effet, le retour des condensats vers le réservoir est conditionné par cette surpression. Un régulateur différentiel optimise le fonctionnement car il prend en compte les variations de pression du circuit de condensation.

  La baisse de pression du liquide pourrait conduire à une mauvaise alimentation des détendeurs.

Au moment de l'injection de gaz chaud, étape "dégivrage," l'E.V. 4 est hors tension.

Le régulateur assure donc la pression de dégivrage vers les évaporateurs.

Séquences du dégivrage gaz chaud de l'évaporateur N° 2						
Recepteurs	Marche froid	"pump down"	Dégivrage	Egouttage	Fixation	Marche froid
Ventilateur	1	1	0	0	0	1
E.V. 11	1	0	0	0	1 ou 0	1
E.V. 12	1	0	0	0	1	1
E.V. 13	0	0	1	0	0	0
Les évaporateurs N°1 et N°3 sont en marche forcée pendant l'étape "dégivrage"						



Dégivrage par gaz chaud . Installation régime noyé, alimentation par pompe.

Dégivrage par gaz chaud d'une installation en régime noyé, alimentée par pompe.

L'installation représentée est une installation mono-étagée dont les évaporateurs sont alimentés par une pompe qui distribue sous pression le fluide frigorigène.

Les 3 évaporateurs sont pourvus de trois stations de vannes identiques.

- 1 électrovanne d'alimentation en liquide (1, 21 et 31),
- 1 électrovanne d'aspiration (2, 22 et 32),
- 1 électrovanne d'injection de gaz chaud (3, 23 et 33),
- 1 régulateur amont (4, 24 et 34).

Les évaporateurs 1 et 2 sont en marche "froid", le passage du fluide frigorigène est indiqué par les flèches bleues.

L'évaporateur 3 est en dégivrage, le passage du fluide frigorigène est indiqué par les flèches rouges.

Le gaz chaud passe en premier lieu dans le serpentin de la cuvette avant de traverser la batterie de l'évaporateur. Au passage dans l'évaporateur, il cède son énergie en se condensant, il est alors fortement sous-refroidi.

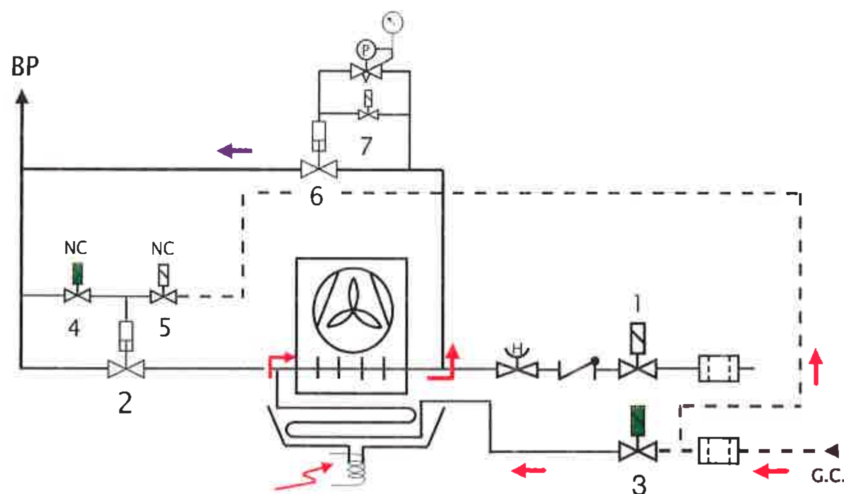
Le dégivrage n'est possible que si la température de l'évaporateur est ≥ à 0° C. C'est le régulateur amont qui maintient une pression permettant d'obtenir de 5 à 7°C dans l'évaporateur. Le réglage s'effectue avec le manomètre mis en place lors des essais.
Suivant les fluides, le régulateur est réglé à 8,5 bar avec du R404A, 7 bar avec du R22 et 6,5 bar avec du R717.
Après le passage dans le régulateur amont (34), le fluide rejoint le collecteur d'aspiration.

Nota : pendant la marche froid, le régulateur amont est fermé car sa pression d'ouverture est très largement supérieure à la pression de refoulement de la pompe.

Les séquences du dégivrage sont identiques à celles du dégivrage en détente directe à l'exception du "pump down" qui ne se pratique pas. En effet, l'évaporateur en régime noyé contient entre 70 et 80 % de liquide, la quantité de fluide évaporée par un "pump down" est limitée, d'autant que le "pump down" intervient à un moment où l'évaporateur est givré.

Le dégivrage par gaz chaud utilise de l'énergie sous forme de chaleur, sinon elle serait évacuée en dehors du système. Cette technique est certes économique mais la fréquence et la durée des dégivrages doivent être maîtrisées. Malgré toutes les précautions prises, une diffusion de chaleur est inévitable dans la chambre froide.

Le pilotage des installations par automates programmables facilite l'organisation des dégivrages en fonction de l'activité de l'entreprise.



Evaporateur 1 en dégivrage

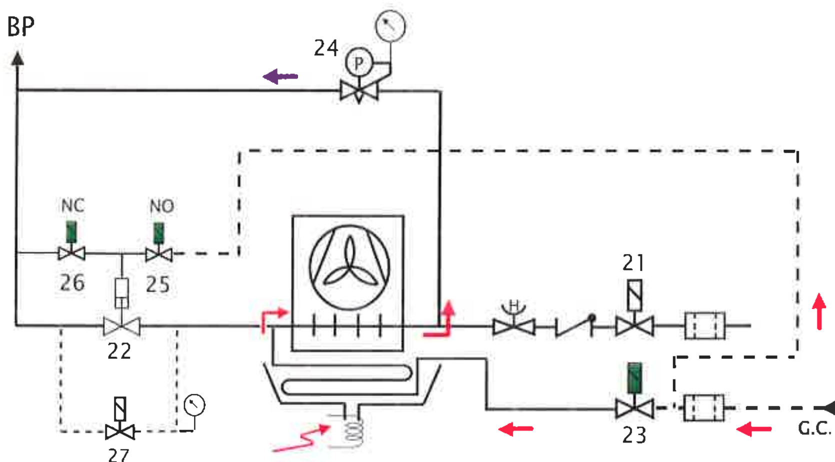
Evaporateur 1 en dégivrage.

La vanne 2 est une vanne à servocommande pilotée par du gaz chaud.
Deux électrovannes NC assurent l'ouverture et la fermeture de la vanne.

Pilotage de la vanne 6 :

- ⇨ au début du dégivrage, l'électrovanne 7 est sous tension, le liquide froid est évacué par le gaz chaud, puis l'électrovanne est mise à l'arrêt.
- ⇨ la température dans l'évaporateur doit être ≥ à 0°C.

  C'est le réglage du régulateur amont qui détermine la pression et donc la température interne de l'évaporateur.



Evaporateur 2 en dégivrage

Evaporateur 2 en dégivrage.

La vanne d'aspiration 22 est commandée par :
une électrovanne NC et une électrovanne NO.

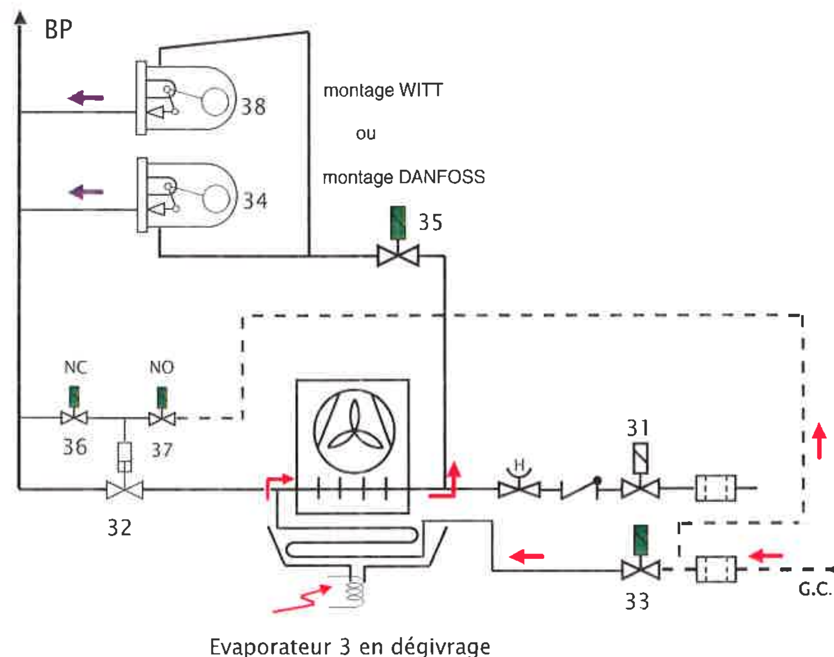
A la fin du dégivrage, la pression dans l'évaporateur est comprise entre 6 et 9 bar selon le fluide.

L'ouverture de la vanne 22 peut provoquer un "coup de bélier" alors pour l'éviter, une électrovanne 27 de section réduite est mise en parallèle avec la vanne principale 22.

Avant la fixation, l'électrovanne 27 est mise sous tension pour dépressuriser l'évaporateur.
Ainsi à l'ouverture de la vanne 22, la pression dans l'évaporateur sera proche de la pression BP.

Des vannes pilotées qui intègrent cette ouverture en 2 temps sont commercialisées.

Variantes de dégivrage par gaz chaud. Installation en régime noyé, alimentation par pompe.



Evaporateur 3 en dégivrage

Evaporateur 3 en dégivrage.

Dans cet exemple, l'évacuation du liquide résultant du dégivrage se fait par l'intermédaire d'un flotteur HP.

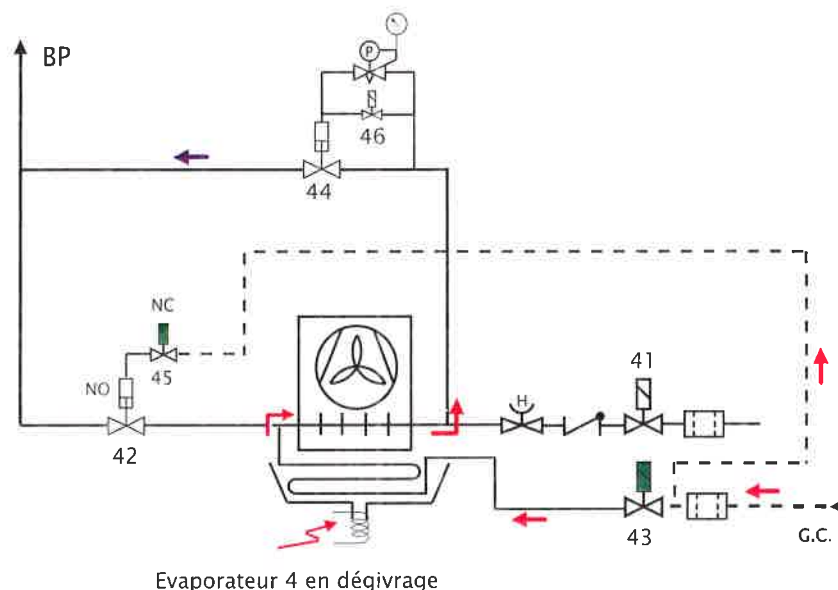
Séquences

- ⇨ au début du dégivrage, le liquide froid est évacué par le flotteur,
- ⇨ le dégivrage se poursuit en évacuant le liquide issu de la condensation des G.C.

Pendant le dégivrage, la pression augmente et dépasse 0°C car l'orifice de sortie est faible.

Deux modèles de flotteurs HP sont proposés :

- ⇨ le flotteur WITT (38),
- ⇨ le flotteur DANFOSS (34).



Evaporateur 4 en dégivrage

Evaporateur 4 en dégivrage.

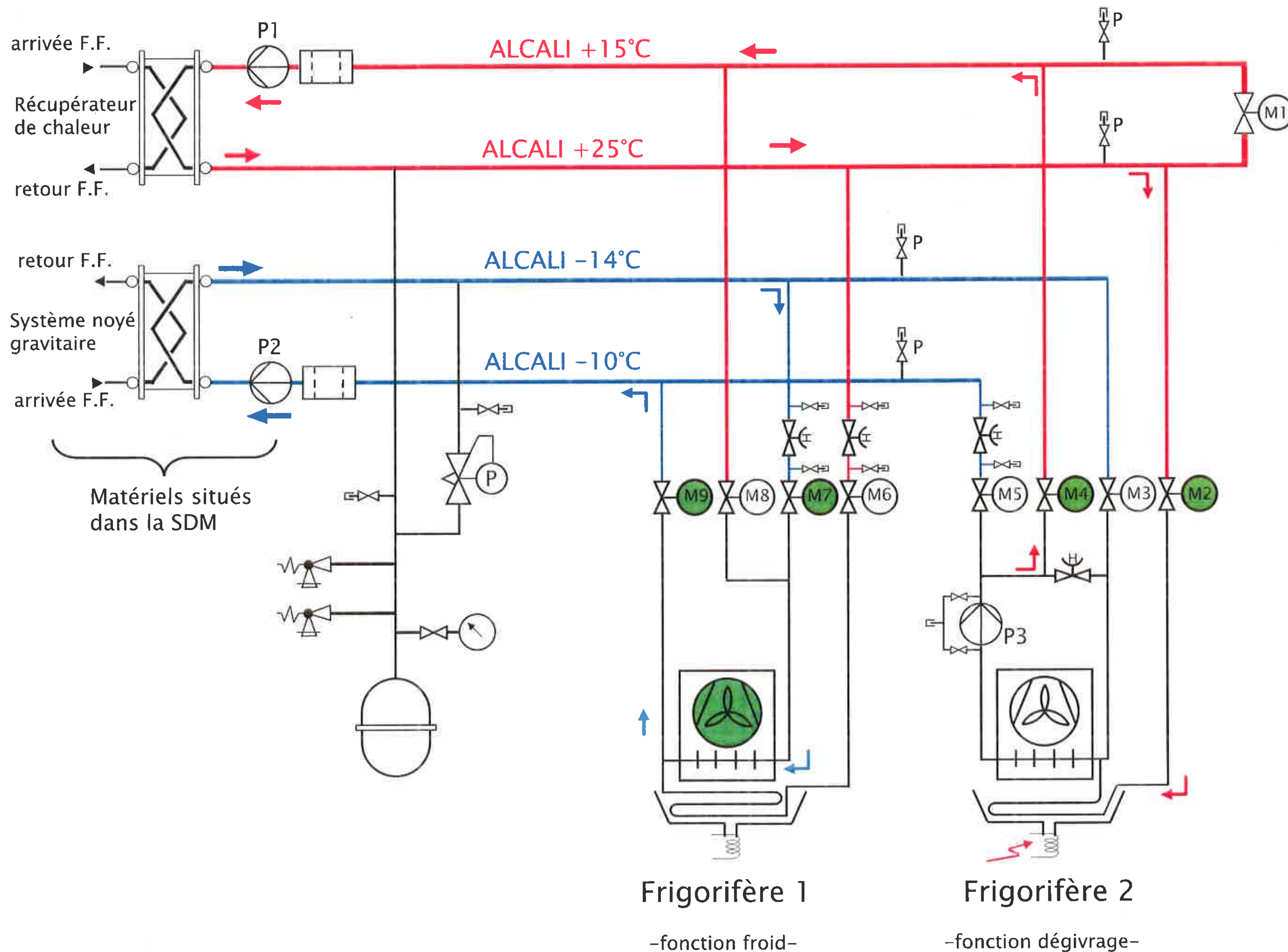
La vanne d'aspiration utilisée (42) est normalement ouverte. Pendant le dégivrage, l'injection de gaz chaud par l'intermédiaire de l'électrovanne (45) provoque la fermeture de la vanne (type CK2).

Pilotage de la vanne 44 :

- ⇨ au début du dégivrage, l'électrovanne 46 est sous tension, le liquide froid est évacué par le gaz chaud, puis l'électrovanne est mise à l'arrêt.
- ⇨ la température dans l'évaporateur doit être ≥ à 0°C.

  C'est le réglage du régulateur amont qui détermine la pression et donc la température interne de l'évaporateur.

Variantes de dégivrage par gaz chaud. Installation en régime noyé, alimentation par pompe.



Dégivrage d'une installation avec frigoporteur. ALCALI 17,7 %.

Dégivrage des installations avec frigoporteurs

M1

Le dégivrage des frigorifères utilisant des frigoporteurs monophasiques* doit être envisagé dès lors que la température du liquide en circulation est ⩽ à 0°C.
Les sites utilisateurs sont souvent organisés suivant ce schéma :
⇨ une zone de production au rez-de-chaussée,
⇨ une zone de distribution au-dessus des salles de travail ou de stokage. Ces galeries techniques facilitent l'accès aux stations de vannes et ainsi sécurisent les opérations de maintenance.

La zone de production placée dans la salle des machines (SDM) comprend :
⇨ le refroidissement et le stokage du frigoporteur,
⇨ le réchauffement et le stokage du frigoporteur en vue du dégivrage.
Ce réchauffement est obtenu par récupération d'énergie sur la partie condensation du refroidissement.
⇨ les pompes primaires pour le froid et le chaud. Ces pompes élèvent les frigoporteurs au niveau des points de distribution avec un débit correspondant à la totalité des postes de froid.

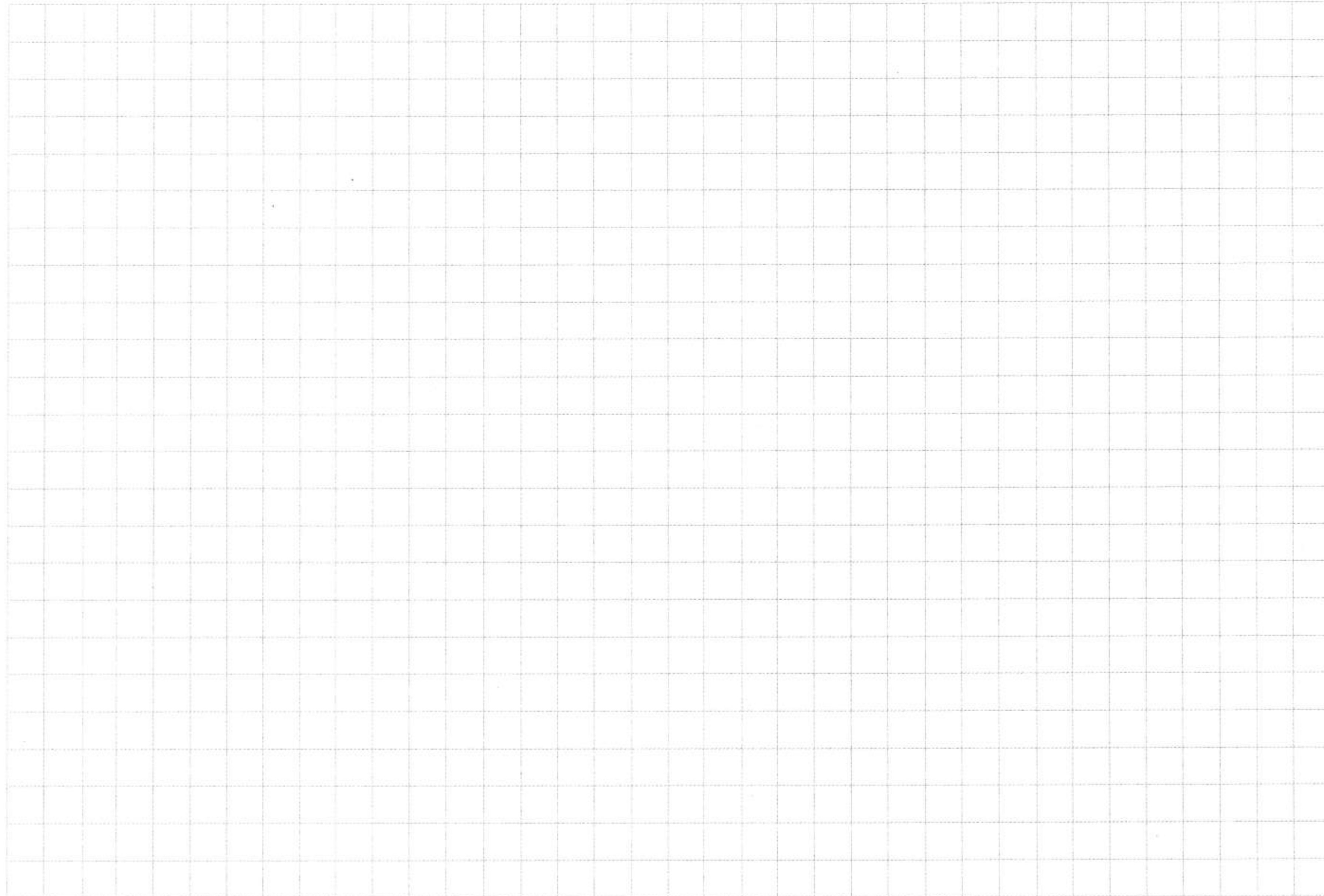
Ce principe de centralisation réduit la charge en fluide frigorigène et sécurise les installations utilisant des fluides toxiques.
La contrepartie est un bilan énergétique pénalisé par les delta T des échangeurs et le pompage supplémentaire.

La distribution vers les frigorifères est assurée par les stations de vannes composées :
⇨ de vannes motorisées, 2 ou 3 voies, en fonctionnement T.O.R.
⇨ d'une pompe secondaire qui assure parfois le débit nécessaire au poste de froid,
⇨ de régleurs,
⇨ de filtres,
⇨ de points de purge,
⇨ de vannes d'isolement (non représentées).
Sur le plan, 2 exemples d'alimentation des frigorifères :
⇨ les pompes primaires ont un débit suffisant pour acheminer les frigoporteurs jusqu'aux stations, c'est le cas du frigorifère 1.
⇨ les résistances des circuits sont telles qu'une pompe auxiliaire est nécessaire, c'est le cas du frigorifère 2.

Les vannes de M1 à M9 sont des vannes motorisées T.O.R.
La vanne M1 maintient en température la boucle chaude avant le dégivrage. Elle est fermée pendant le dégivrage.
Rôle des régleurs :
⇨ R1, R2 et R3 ont une fonction d'équilibrage des réseaux,
⇨ R4 assure une fonction de sécurité, c'est le débit minimum de la pompe. Cette situation peut se présenter si une des vannes motorisées n'est pas dans la bonne postion et perturbe la libre circulation du liquide (problème mécanique ou électrique).

*<u>Frigoporteur monophasique</u> : liquides incongelables ne subissant pas de changement d'état lors du transfert d'énergie.
Le terme de frigorifère convient mieux que celui d'évaporateur.
<u>Frigoporteur diphasique</u> : afin d'accroître les transferts thermiques, on utilise l'enthalpie de fusion pour absorber l'énergie du système.
Deux types de mélanges sont utilisés :
⇨ le mélange liquide + vapeur, dénommé "LIQUIVAP" c'est une des applications du R 744,
⇨ le mélange solide + liquide, dénommé "LIQUISOL" c'est l'utilisation de l'eau + de la glace ou des saumures + de la glace.

Notes personnelles.



Les circuits de réintégration d'huile.

Le bon usage de l'huile.

La sélection d'une huile demande toute l'attention de l'installateur, elle ne se résume pas à la simple lecture de tableaux de sélection.
Cette opération sort du cadre de ce carnet.
Les bonnes pratiques du technicien sont primordiales pour pérenniser la qualité de l'huile.

Le mélange de fluide frigorigène et d'eau forme des acides qui altèrent les qualités de l'huile.

Ces acides peuvent générer des phénomènes de cuivrage sur les parties mobiles du compresseur ou détruire les vernis des moteurs électriques des compresseurs hermétiques ou hermétiques accessibles.

Les huiles sont hygroscopiques c'est-à-dire qu'au contact de l'air elles se chargent de son humidité.

❖ Les huiles sont des solvants irritants pour la peau, une protection s'impose lors de leur manipulation.

La préparation du circuit par un tirage au vide efficace élimine les traces d'humidité mais ensuite de mauvaises manipulations peuvent être la source de pollution de l'huile.

- En l'absence d'information précise, il faut être circonspect sur l'huile qui sera utilisée. Le bidon d'huile trouvé dans la salle des machines n'est pas nécessairement l'huile de l'installation !
- Toutes les huiles ne peuvent pas se mélanger même si elles sont synthétiques. Outre les problèmes de lubrification dûs à des viscosités inappropriées, ces mélanges transforment notablement la miscibilité des huiles avec comme conséquence une réintégration au carter difficile.
- La charge doit se faire avec des pompes et des flexibles exempts d'huile contaminée. Avant l'introduction de l'huile dans le carter, le flexible doit être intégralement purgé.
- Pendant la charge, il faut étancher au maximum le bidon avec un chiffon, un balayage à l'azote est nécessaire pour les bidons de grande capacité
- Adapter la capacité du bidon avec la charge à effectuer. En effet, l'huile des bidons entamés se sature d'humidité.
- Ouvrir les bidons au dernier moment et les reboucher au plus vite après usage.

Les bidons entamés sont de véritables pompes à humidité. Selon la variation du volume massique due à la température, l'huile absorbe de l'humidité qui risque d'être introduite dans les circuits.

- Aussi pour éviter cette pollution, il est souhaitable de stocker les bidons à l'envers, alors il n'y a plus le risque d'absorption d'humidité par l'huile, si l'étanchéité n'est pas parfaite, quelques gouttes d'huile couleront.

Le changement de fluide frigorigène (retrofit) s'accompagne généralement du remplacement de l'huile. La teneur résiduelle de la précédente huile doit être contrôlée par un réfractomètre à correction de température.

La lubrification.

Tous les systèmes mécaniques ont besoin de lubrification. Une installation frigorifique se caractérise par l'étendue de sa plage de températures. L'huile doit conserver toutes ses qualités en haute (HP) et en basse température (BP).
Le choix de l'huile est orienté par :

- la pression de fonctionnement qui détermine les températures,
- le fluide frigorigène,
- le type d'évaporateur,
- les préconisations des compressoristes.

Les caractéristiques des huiles proposées sont pour l'essentiel normées et se déclinent ainsi :

- les caractéristiques communes à toutes les huiles : viscosité, point éclair, indice de neutralisation acide, point d'écoulement, teneur en eau, point de floculation, etc.
- les caractéristiques spécifiques qui conditionnent la conception de l'installation (miscibilité) ou qui génèrent des perturbations (solubilité).

La solubilité. Elle concerne le mélange de fluide frigorigène en phase gazeuse. L'absorption du F.F. par l'huile a pour effet de diminuer la viscosité. C'est la situation dans le carter d'un compresseur ou dans le séparateur d'huile.

La solubilité du F.F. ou sa dilution dans l'huile dépend :

- de la nature du fluide,
- du type de lubrifiant,
- de la température,
- de la pression.

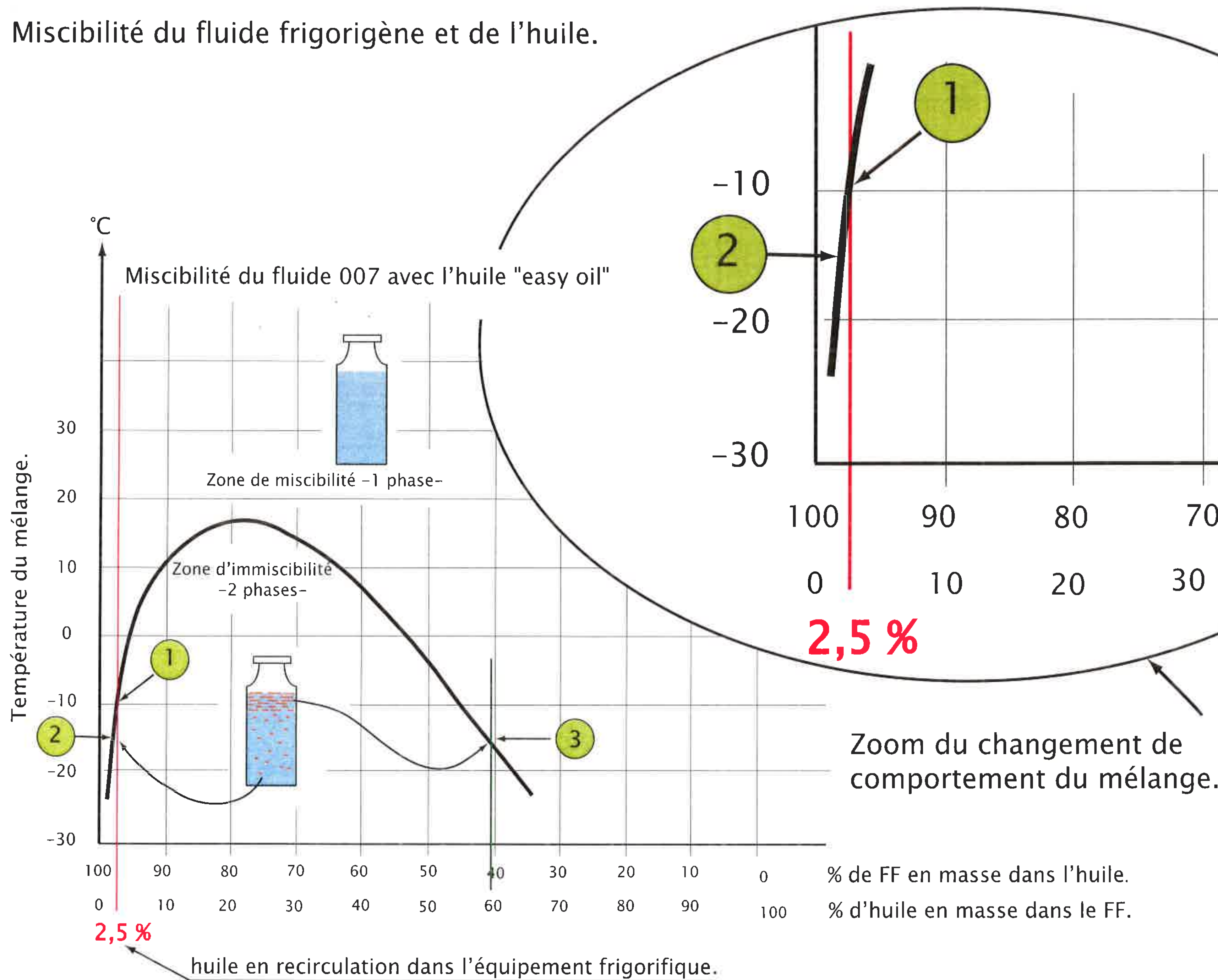
La solubilité augmente quand la pression monte,
La solubilité diminue quand la température monte.

Lors du démarrage du compresseur, cette solubilité a 2 effets néfastes :

- la diminution de la viscosité engendre de l'usure,
- l' émulsion de l'huile entraîne une cavitation de la pompe. Aussi une régulation appropriée limite la solubilité, la pression est abaissée par un pump-down et la température augmentée par une résistance de carter. Pour limiter l'émulsion, d'autres artifices sont employés comme l'égalisation des pressions ou la temporisation de l'ouverture de l'électrovanne de retour d'huile.

de

Miscibilité du fluide frigorigène et de l'huile.



Zoom du changement de comportement du mélange.

La miscibilité du fluide frigorigène et de l'huile.

La miscibilité. Elle concerne le mélange lorsque le F.F. est en phase liquide, elle dépend :

- de la température,
- de la proportion d'huile dans le mélange,
- du comportement du mélange huile/fluide frigorigène.

Les fabricants d'huile établissent une courbe de miscibilité par mélange, il est donc hasardeux d'extrapoler pour les mélanges inconnus.

Interprétation de la courbe et du comportement du mélange (page de gauche).

L'installation contient 2,5 % d'huile en recirculation et sa température de fonctionnement est de - 15 °C.
Jusqu'à environ +18 °C, la proportion d'huile n'a aucune incidence, la miscibilité est totale.
A -10°C, point 1, il y a séparation de phase. Une phase riche en F.F. et une autre riche en huile.

A -15°C, température de notre équipement, on distingue 2 zones, une riche en fluide frigorigène avec seulement 2 % d'huile point 2, une autre riche en huile avec 58 % d'huile point 3.
Par différence de masse volumique, l'huile est sur la partie supérieure du mélange.
La miscibilité conditionne le type de retour d'huile à adopter. Voir document sur les décocteurs.

Le départ de l'huile dans le circuit est inévitable, il faut limiter sa migration et favoriser son retour.

Circuit en détente directe ou détente sèche.

L'huile revient par la tuyauterie d'aspiration sous l'effet mécanique des gaz aspirés et l'inclinaison des tubes qui favorise son écoulement (pente vers le compresseur et vitesses dans les tubes).

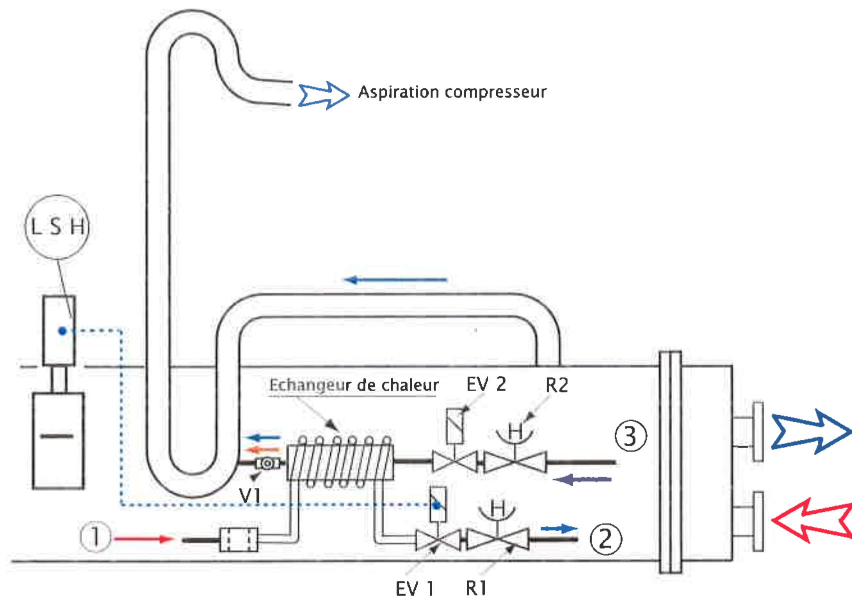
Vitesses à adopter dans une tuyauterie d'aspiration :

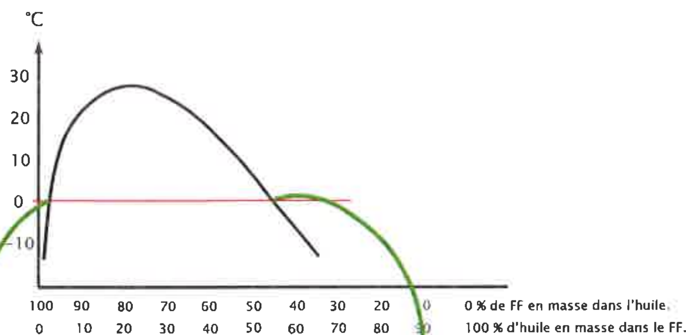
Vitesse maximum : 15 m/s. Des vitesses supérieures génèrent des bruits ou des vibrations.
Vitesse minimum : 7m/s pour les remontées verticales et 3 m/s pour les parties horizontales.

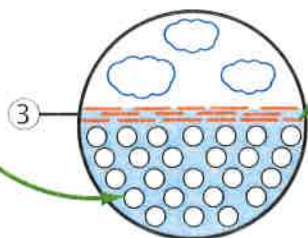
Circuit en régime noyé (gravitaire ou par pompe).

L'usage de décocteur ou rectifieur devient indispensable. Présentation à la page suivante.

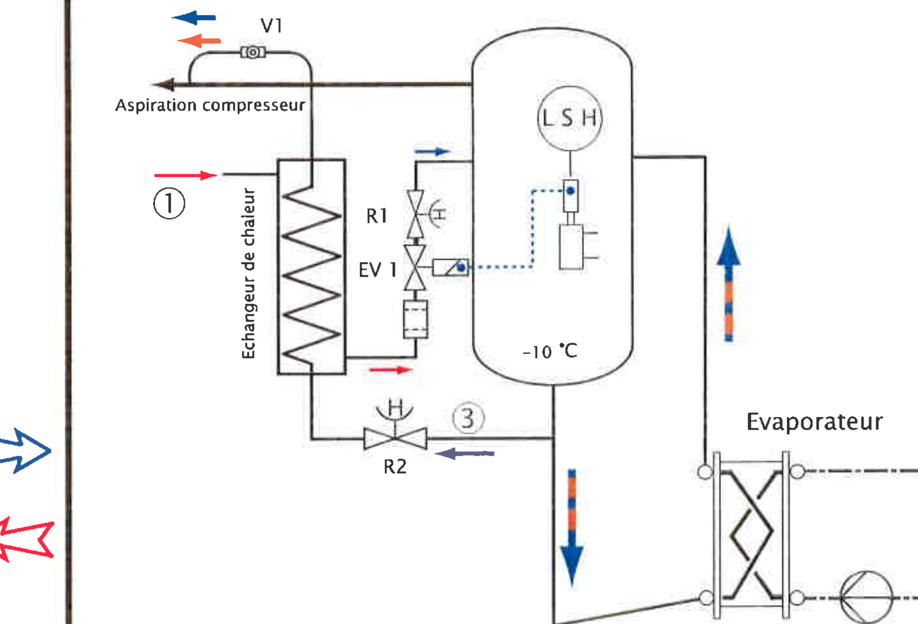
Les décocteurs ou rectifieurs.

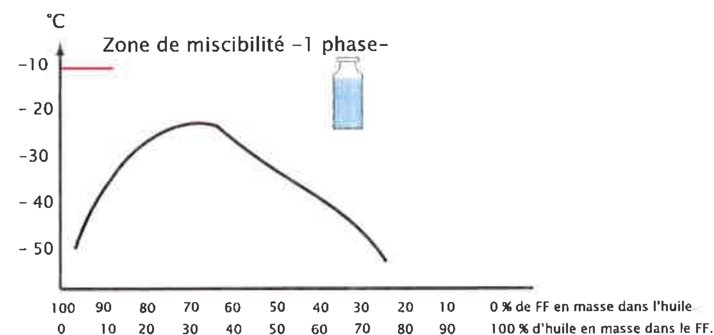


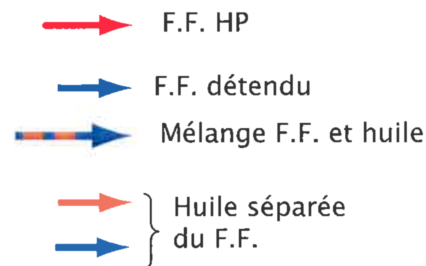




Equipement 1.







Equipement 2.

Les décocteurs ou rectifieurs.

Le retour d'huile des systèmes noyés par pompe ou gravitaire nécessite l'usage d'un décocteur ou rectifieur, appellation différente selon les installateurs.

Indépendamment du degré de miscibilité de l'huile ils possèdent en commun :

- un point 3 de prélèvement du mélange huile/F.F,
- un régleur 2,
- un échangeur de chaleur,
- un raccordement vers l'aspiration du compresseur pour la réintégration de l'huile,
- un voyant V1 pour ajuster le débit du mélange huile/F.F.

<u>Equipement 1</u>. L'évaporateur est un refroidisseur de liquide de type multitubulaire.

<u>L'huile n'est pas miscible</u>, plus légère que le fluide frigorigène (HFC), elle se concentre en partie supérieure de l'évaporateur.

- Le prélèvement du mélange se fait au point 3.
- Dans l'échangeur, la chaleur du liquide HP vaporise le fluide frigorigène qui est aspiré par le compresseur.
- L'huile s'écoule vers le siphon (piège à huile). Le siphon se remplit d'huile, la section de passage des gaz diminue.
- La vitesse des gaz est alors suffisamment élevée pour entraîner l'huile vers le compresseur.
- Le régleur R2 permet de doser le mélange et ainsi éviter l'entraînement de liquide vers le compresseur.
- Le voyant V1 aide au réglage de R2.

L'évaporateur est alimenté en 2 par du liquide détendu en R1 et c'est le contrôleur de niveau LSH qui commande l'électrovanne EV1.

<u>Equipement 2</u>.

<u>L'huile est miscible</u>, le prélèvement du mélange peut se faire <u>en tout point du circuit</u> contenant du fluide frigorigène en phase liquide.

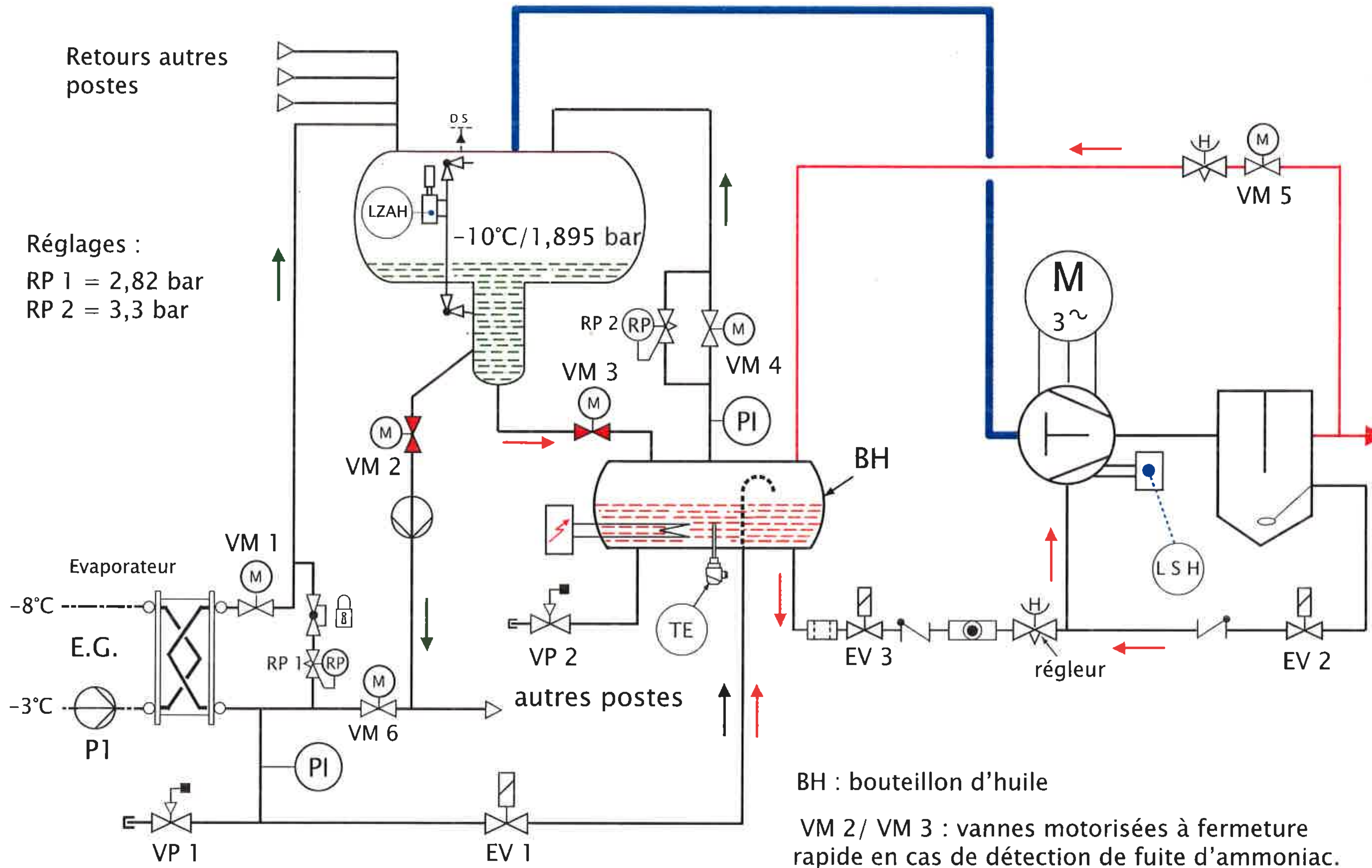
Le prélèvement du mélange en 3 alimente l'échangeur de chaleur. Dans l'échangeur, le fluide frigorigène s'évapore et entraîne l'huile vers le collecteur d'aspiration.

Le prélèvement est dosé par le régleur R2 avec un contrôle visuel en V1.

La bouteille séparatrice BP est alimentée en 2 par du liquide détendu en R1 et c'est le contrôleur de niveau LSH qui commande l'électrovanne EV1.

Nota : certains décocteurs ou rectifieurs utilisent la chaleur présente dans les gaz HP du refoulement pour vaporiser le fluide frigorigène.

Réintégration d'huile automatique sur une installation avec de l'ammoniac et de l'huile non miscible.



Nota : seuls les composants indispensables à la compréhension du sujet traité sont représentés.

Réintégration automatique d'huile sur une installation à l'ammoniac.

La réintégration n'est possible que pendant la production des autres postes de froid.

Le cycle de réintégration est automatisé à l'aide de temporisations réglées lors de la mise en service.

Les 2 manomètres PI sont indispensables pour le réglage des régulateurs amont, RP 1 et RP 2.

Deux fonctions attribuées au régulateur RP 1 :

→ limiter l'éventuelle surpression du liquide,

→ pressuriser l'huile pour son transfert vers le bouteillon.

Phase B : l'arrivée de liquide est interrompue par VM 6, la pompe P1 transfère de la chaleur provoquant l'évaporation de l'ammoniac.
Le temps du pump-down est limité afin d'obtenir une bonne pressurisation lors de la phase C.
Du fait de la gravité, l'huile dans le bas de la bouteille BP s'écoule par l'intermédiaire de VM 3.

Phase C : mise à 0 de VM 1. La pression atteint 2,82 bar (-3°C).
L'ammoniac provoque l'augmentation de la pression jusqu'à la valeur du réglage de RP1.

Phase D : l'huile s'écoule par surpression de l'évaporateur vers le bouteillon.
La pression dans le bouteillon correspond à la pression BP (1,895 bar).
La résistance électrique évapore l'ammoniac. La sonde TE indique la fin de l'évaporation.

Phase E : du gaz HP est injecté dans le bouteillon, la pression se maintient à la valeur de réglage de RP 2.
Le transfert est autorisé si le niveau d'huile dans le carter le nécessite (LSH).

Phases de fonctionnement.

A : marche froid.

B : pump-down de l'évaporateur.

C : pressurisation de l'évaporateur.

D : transfert vers le bouteillon d'huile.

E : réintégration de l'huile vers le compresseur.

Etat des composants : 0 à l'arrêt. 1 en service.

	VM 1	VM 2	VM 3	VM 4	VM 5	VM 6	EV 1	EV 2	EV 3	P 1
A	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1
B	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1
C	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1
D	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0
E	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0

Notes personnelles

Les régulateurs de pression et de température.

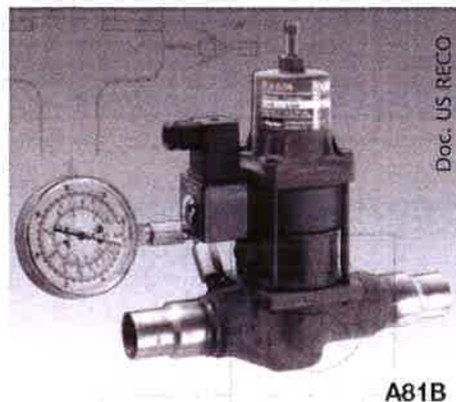
Les régulateurs de pression ou de température.

Les régulateurs "en ligne".

Ces régulateurs possèdent des fonctions :
- ⇒ soit uniques, exemple : régulateur de démarrage,
- ⇒ soit associées, exemple : régulateur amont + VEM.

Ils couvrent des sections de 3/8" à 2' 5/8".


Doc. DANFOSS



Doc. US RECO

Dans la norme NF EN 1861, ils sont considérés comme des robinets "régulateurs de pression".

Les vannes régulatrices à servocommandes.

Elles sont constituées :
- ⇒ d'un corps de vanne,
- ⇒ d'un ou plusieurs pilotes.

La disposition des pilotes permet d'obtenir des fonctions :
- ⇒ en parallèle,
- ⇒ en série,
- ⇒ en série et parallèle.

Ces vannes couvrent des sections de 3/4" à 8'.


Doc. DANFOSS

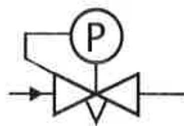

Doc. US RECO

Dans la norme NF EN 1861, elles sont considérées comme des robinets actionneurs "entraînement par piston".

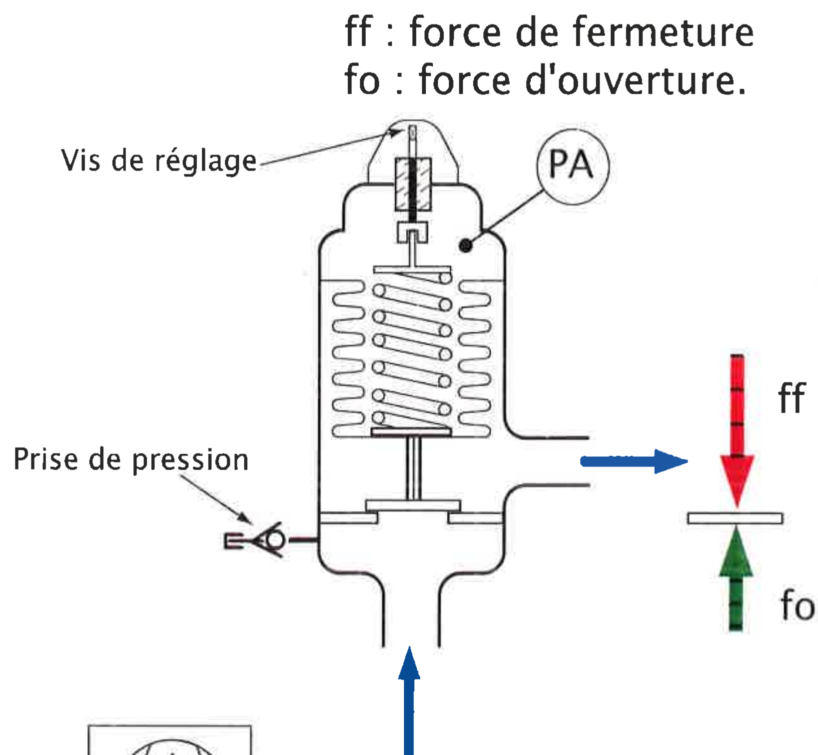
Remarques communes pour tous les régulateurs :
- ⇒ la pression atmosphérique, annotée PA, qui agit sur les soufflets, n'est pas prise en compte car elle est faible et relativement stable. Sa variation ne peut en aucun cas perturber le fonctionnement du régulateur,
- ⇒ la surface des soufflets correspond à la surface des clapets. Ainsi la pression, qui n'est pas contrôlée, ne perturbe pas le fonctionnement. Exemple : la pression aval d'un régulateur "amont" n'a aucune incidence sur la régulation,
- ⇒ le pas des vis de réglage est un pas "à droite". En vissant, on obtient donc une tension supérieure du ressort.

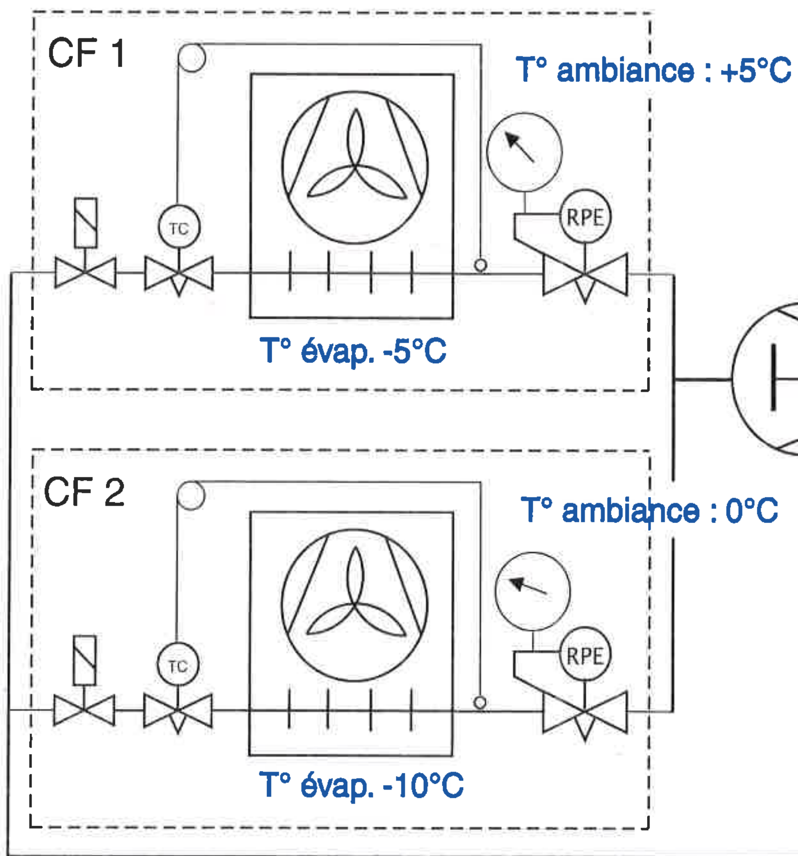
Régulateur de pression amont.

Robinet régulateur de pression amont.
La pression contrôlée est celle qui se situe avant le régulateur.



NF EN 1861





Le régulateur de pression amont.

Objectif : contrôler la pression située avant le régulateur, soit la pression "amont".

Utilisations :

- Contrôle d'hygrométrie de chambres froides. Les CF1 et CF2 ont des températures ambiantes différentes.
  Celles-ci sont régulées par les thermostats. La température d'évaporation est contrôlée par le régulateur afin de respecter les hygrométries en rapport avec les produits stockés,
- Production d'eau glacée, on évite le gel de l'évaporateur en maintenant une température d'évaporation > à 0°C (sécurité),
- Contrôle de la température d'évaporation d'une climatisation. Les évaporateurs sont équipés d'ailettes dont l'écartement est très faible. Une température d'évaporation de 0°C provoquerait rapidement la prise en glace.

Fonctionnement :

Lorsque la pression amont, flèche verte, est supérieure à la pression du ressort, flèche rouge, le régulateur commence à s'ouvrir.

Si la pression amont diminue, le régulateur tend à se refermer.

Réglage :

La pose d'un manomètre est indispensable pour régler le régulateur.

En serrant la vis de réglage, on augmente la pression souhaitée en amont, en la desserrant, on favorise l'ouverture du régulateur.

Commentaires.

Lors de la mise en route, le régulateur amont se règle conjointement au détendeur. On doit simultanément approcher les deux réglages, surchauffe du détendeur et pression d'évaporation.

La puissance d'un détendeur dépend du ΔP entre la HP et la BP, le réglage du régulateur l'influence.

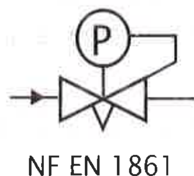
Tenir compte de l'état du régulateur pendant la mise sous pression de l'installation à l'azote et la mise au vide.

Ne pas hésiter à dérégler la position d'usine.

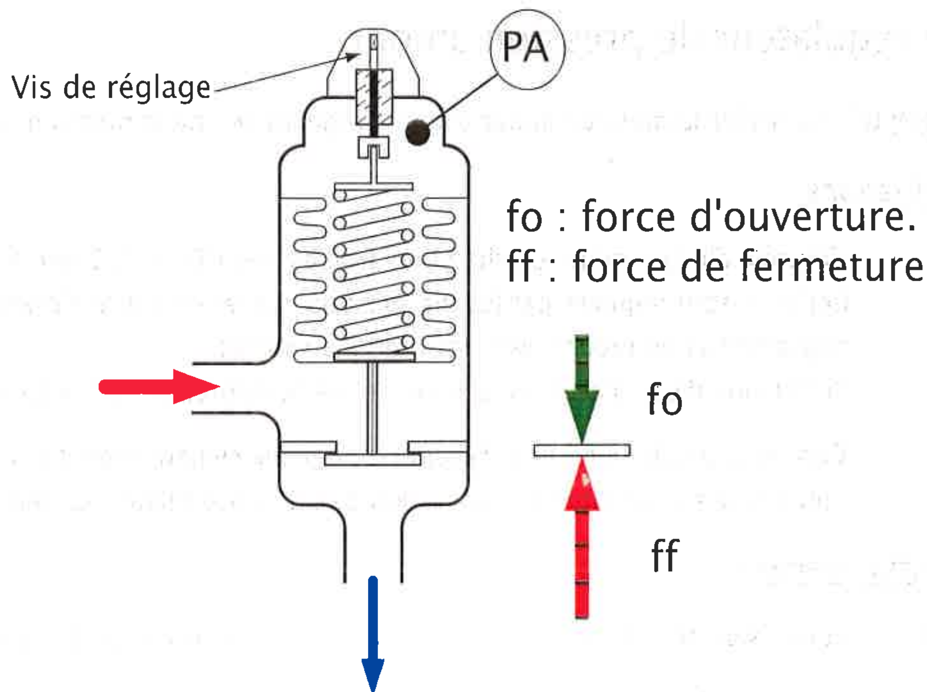
Ne pas oublier de remettre en place le capuchon de protection équipé de son joint.

Régulateur de pression aval.

Robinet régulateur de pression aval.
La pression contrôlée est celle qui se situe après le régulateur.



NF EN 1861



CF 3

T° ambiance : -20°C

TC

RD

T° évap. -28°C

M
3~

moyens de réglage du régulateur de démarrage

P après dégivrage

Effet du régulateur

P aspiration -28°C

Réglage sécurité BP

Le régulateur de pression aval.

Objectif : contrôler la pression située après le régulateur, soit la pression "aval".

Utilisations :

- vanne de démarrage, fonctionnement détaillé ci-contre,
- vanne de contrôle de la pression dans un réservoir HP. Dans ce cas, le régulateur est associé à un régulateur amont (page 85),
- vanne régulatrice de capacité (pages 82 et 83).

Fonctionnement :

La vanne de démarrage est utilisée pour limiter l'intensité de démarrage du moteur électrique. En effet, après le dégivrage d'une CF à basse température, la BP est haute. Le taux de compression à l'instant du démarrage est faible, ce qui implique un bon rendement volumétrique. Dans ces conditions, le compresseur est en mesure d'absorber un débit masse important. Ce débit génère une forte intensité. Le principe est donc de réduire le débit de fluide à l'aspiration du compresseur.
Le régulateur aval augmente le taux de compression, le rendement volumétrique diminue, le débit volume aspiré par le compresseur est ainsi réduit. Le moteur ne subit pas de surintensité.

Lorsque la pression aval, flèche rouge, est supérieure à la pression du ressort, flèche verte, le régulateur est fermé. A la mise en service du compresseur, la force de fermeture diminue, la force du ressort devient prépondérante : le régulateur commence à s'ouvrir.

Après l'ouverture du régulateur, la pression aval augmente, alors le régulateur tend à se refermer.

Moyens de réglage :

- le manomètre BP installé pour la mise en route ou le dépannage. La pression de réglage doit être > à la pression en régime.
- une pince ampèremétrique. La valeur de l'intensité plaquée doit être respectée.

En serrant la vis de réglage, on facilite l'ouverture du régulateur, la pression d'aspiration s'élève et donc l'intensité.
En desserrant la vis de réglage, la "dépression" doit être plus importante pour obtenir l'ouverture du régulateur : l'intensité diminue.

Commentaires.

Tenir compte de l'état du régulateur pendant la mise sous pression de l'installation à l'azote et la mise au vide.

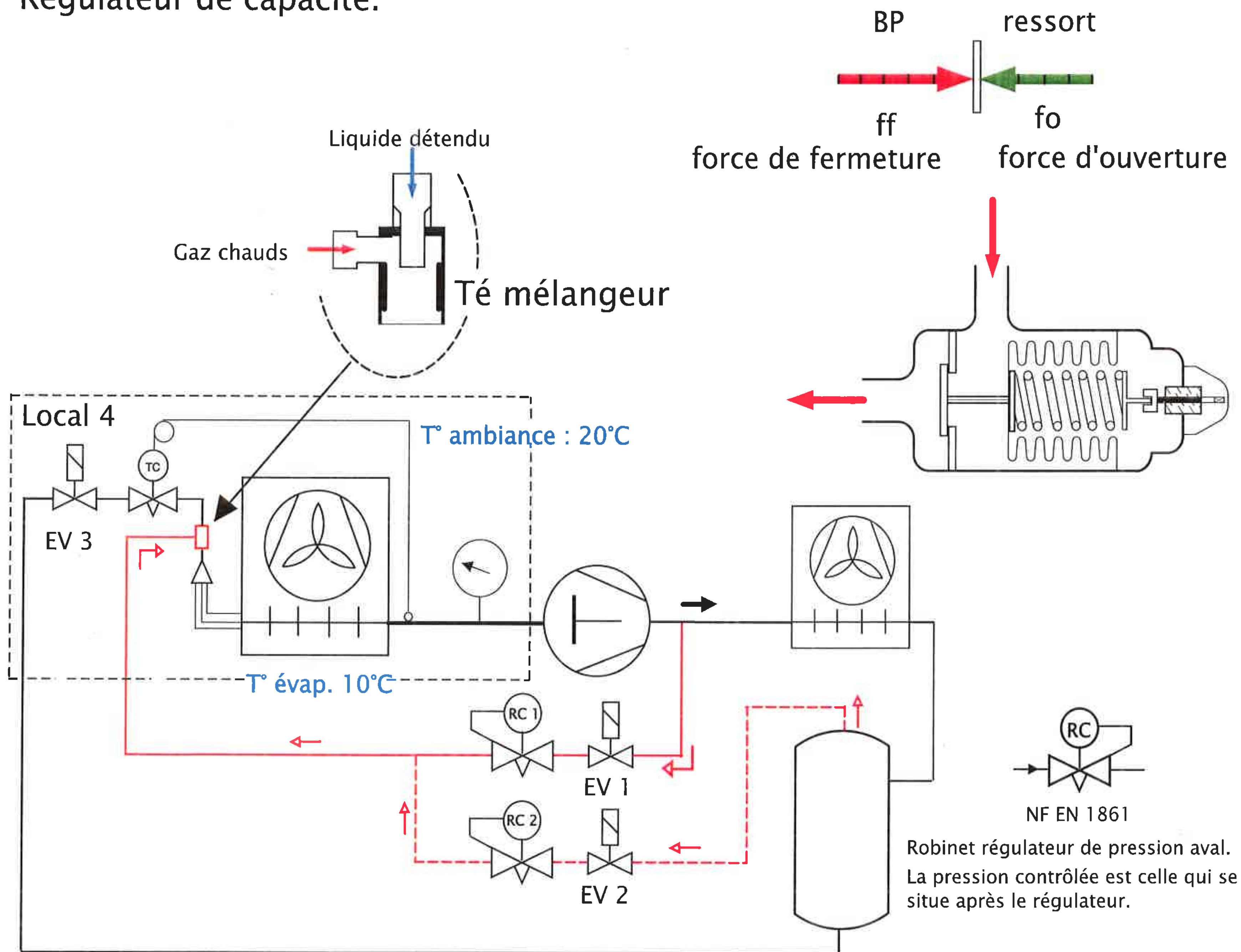
Ne pas hésiter à dérégler la position d'usine.

Ne pas oublier de remettre en place le capuchon de protection équipé de son joint.

u
teur

3P

Régulateur de capacité.



Le régulateur de capacité.

Le régulateur de puissance, communément appelé régulateur de capacité, est un régulateur de pression aval.

Objectif : éviter la chute de la pression BP dans un circuit.

Utilisations :

- installation à postes multiples avec un seul compresseur ne possédant pas de réduction de puissance,
- ensemble monobloc de types climatiseur, refroidisseur d'eau, sécheur d'air. Le changement de compresseur à l'identique est incertain. Le débit volume supérieur, aussi faible soit -il, provoque une baisse de la BP.

Sur les petits bateaux de pêche, avant l'utilisation d'embrayage électromécanique, le compresseur tournait sans interruption pendant 7 jours. Un régulateur de capacité limitait la température de la cale pour éviter la congélation du poisson.

Fonctionnement :

Le régulateur RC1 est situé entre la HP et la BP. C'est la force du ressort qui détermine le seuil d'ouverture du régulateur.

- La pression BP est supérieure à la valeur réglée : le régulateur est fermé.
- la pression BP baisse par manque de charge thermique, la force du ressort devient prépondérante. Le régulateur commence à s'ouvrir.

L'injection de gaz HP se traduit par une élévation de la pression BP, le régulateur tend à se refermer ou à réduire le débit de gaz chaud.
Le régulateur module jusqu'à ce que la température du dispositif soit atteinte.
Si l'installation est pourvue d'un tirage au vide (pump down), l'électrovanne EV1 ou EV2 sera mise hors tension au même instant que l'EV3.
Sans cette précaution, l'installation ne s'arrêterait pas.

Mise en œuvre. Pour l'injection de gaz chauds, il est souhaitable d'utiliser les tés de mélange proposés par les constructeurs.
La conception de ces tés assure un mélange homogène du liquide détendu et du gaz chaud.
Selon les cas, les gaz chauds peuvent être collectés au-dessus du réservoir (RC2, circuit pointillés rouges).

Placé en amont du distributeur, le té de mélange présente des avantages :

- Le détendeur régule la surchauffe,
- le retour d'huile se fait correctement car la vitesse est constante dans l'évaporateur.

Réglage :

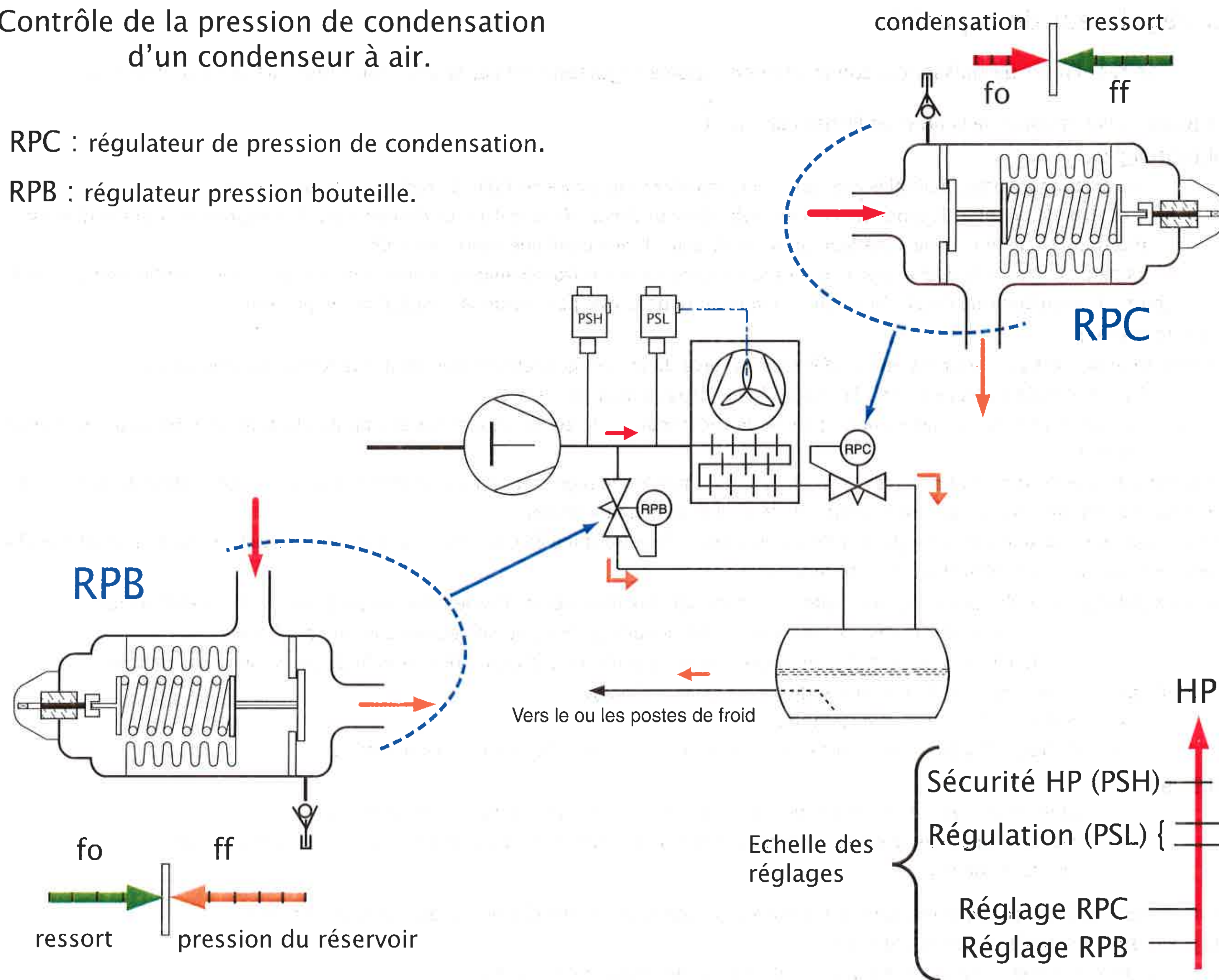
- déterminer la valeur minimum de la BP (calcul ou recommandations du constructeur),
- créer une baisse de la BP par arrêt du ventilateur d'évaporateur, puis ajuster l'ouverture du régulateur avec la vis de réglage.

Tenir compte de l'état du régulateur pendant la mise sous pression de l'installation à l'azote et la mise au vide.
Ne pas hésiter à dérégler la position d'usine.
Ne pas oublier de remettre en place le capuchon de protection équipé de son joint.

Contrôle de la pression de condensation d'un condenseur à air.

RPC : régulateur de pression de condensation.

RPB : régulateur pression bouteille.



Contrôle de la pression de condensation d'un condenseur à air.

Utilisation de régulateurs.

Objectif : contrôler la pression de condensation lorsque la température extérieure est basse.

Une pression de condensation élevée génère entre autres une augmentation de la puissance absorbée et de la température de refoulement. Elle diminue le rendement volumétrique qui occasionne une augmentation du temps de fonctionnement.

La baisse de la pression de condensation peut avoir des répercussions entrainant l'arrêt de l'installation en sécurité BP. Il est très difficile d'argumenter face au client qui a une installation qui fonctionne parfaitement bien en été, mais qui manque de fiabilité en hiver !

En effet, le débit et donc la puissance d'un détendeur dépendent, entre autres, du Δ P entre l'entrée et la sortie de celui-ci.

En période hivernale, la pression de condensation devient basse, voire très basse. L'enjeu sera de maintenir une pression de condensation aussi constante que possible, malgré les conditions extérieures défavorables.

Moyen pour y parvenir : Mettre en place des régulateurs sur le circuit fluidique.

Principe : réduire momentanément l'efficacité du condenseur en diminuant sa surface d'échange S ($Qk=K.S.\Delta\theta$).

Le procédé consiste à engorger le condenseur avec du liquide. La surface destinée à la condensation est réduite, ainsi la pression de condensation augmente, c'est le rôle du régulateur RPC. L'engorgement du condenseur a pour effet d'obtenir un liquide fortement sous-refroidi. Ce liquide froid engendre une faible pression dans le réservoir, le régulateur RPB injecte alors du gaz HP qui élève la pression du liquide.

Réglage :

- mettre en place des manomètres sur RPC et RPB,
- neutraliser le régulateur RPB en dévissant la vis de réglage.
- régler la pression de condensation avec RPC. En serrant la vis, on augmente la pression dans le condenseur,
- régler le régulateur RPB pour obtenir une pression de 0,5 à 1,5 bar en dessous de la pression de condensation.
  Le réglage s'effectue idéalement lorsque la température est basse.

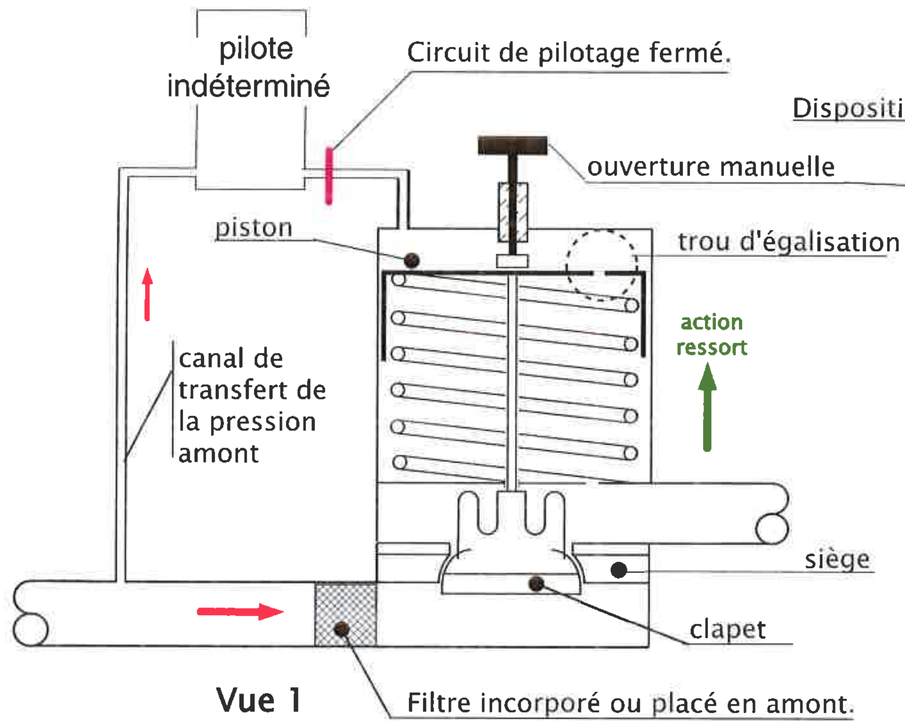
Commentaires

Les transferts de fluide frigorigène impliquent de prévoir :

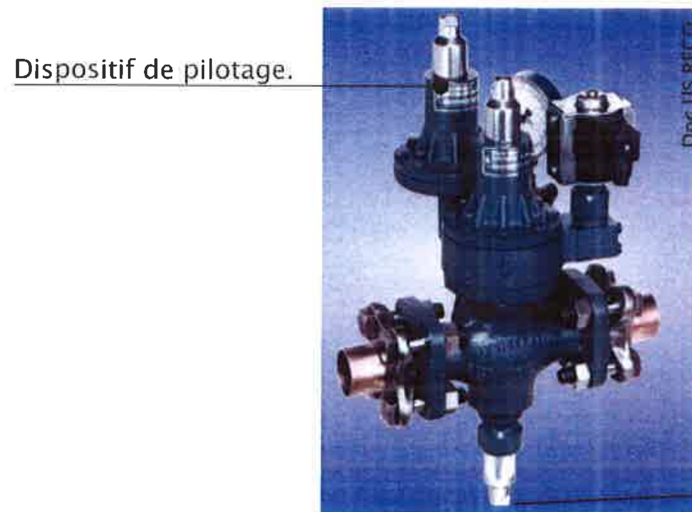
↳ **un réservoir surdimensionné pour l'été et une masse de fluide frigorigène plus importante** pour l'hiver.

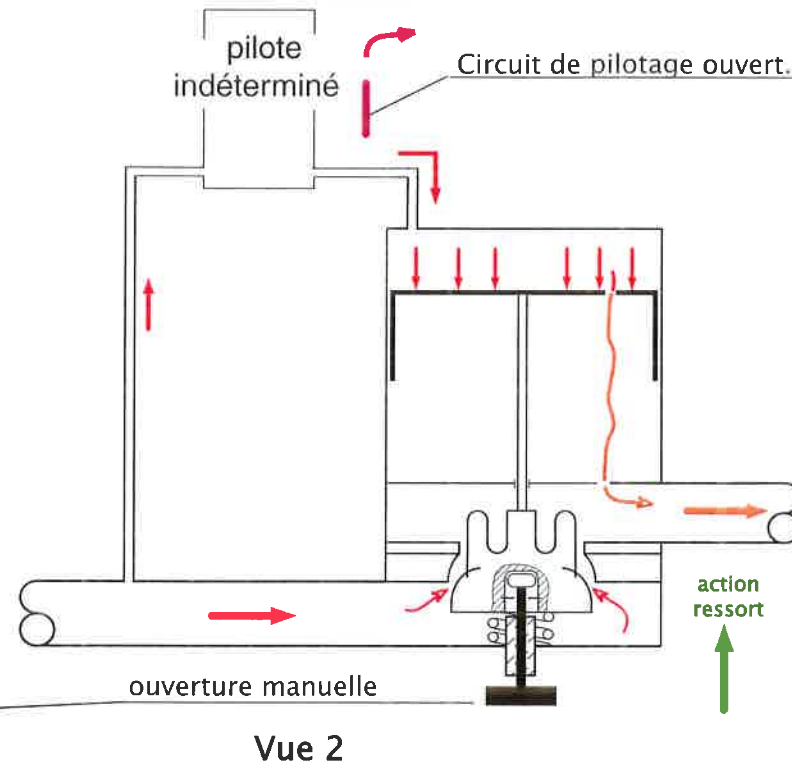
Tenir compte de l'état du régulateur pendant la mise sous pression de l'installation à l'azote et la mise au vide.
Ne pas hésiter à dérégler la position d'usine.
Ne pas oublier de remettre en place le capuchon de protection équipé de son joint.

Les vannes à servocommande : principes de fonctionnement.









Les vannes à servocommande : principes de fonctionnement.

Les constructeurs proposent des corps en acier sur lesquels il est possible de mettre en place différents pilotes. Les vannes sont conçues pour fonctionner à des pressions HP ou BP avec du fluide frigorigène en phase liquide ou gazeux (voir les documents des constructeurs). Les vues simplifiées 1 et 2 présentent le principe de fonctionnement du corps de base. Les pages suivantes présentent les possibilités offertes par les divers pilotes. Pour chaque pilote, des exemples d'applications sont proposés.

La condition de fonctionnement de la vanne est d'avoir une pression amont > à la pression aval. C'est la perte de charge qui engendre cette différence de pression entre l'amont et l'aval. Lorsque la vanne est bien sélectionnée, la perte de charge est suffisante pour obtenir le ΔP requis.

Fonctionnement :

Le canal de transfert conduit la pression amont jusqu'au pilote. Suivant sa fonction et son réglage, le pilote laissera s'écouler ou pas le fluide vers le piston.

Sur la vue 1 :

le circuit de pilotage est fermé, le piston sous l'effet du ressort de rappel est en position haute, le clapet est sur son siège, la vanne est fermée.

Sur la vue 2 :

le circuit de pilotage est ouvert, le fluide exerce donc une pression sur le piston, celui-ci descend en actionnant le clapet.
A l'ouverture du clapet, le fluide s'écoule de l'amont vers l'aval.

Un trou sur le piston permet au fluide de s'écouler vers l'aval (trou d'égalisation).

Le degré d'ouverture de la vanne dépend du débit qui pénètre sur le piston par rapport au débit "de fuite" qui s'échappe vers l'aval.
Le "débit de fuite" est représenté par une flèche orange sur la vue 2. Si le pilote interrompt le passage du fluide, le dessus du piston se vide, le ressort redevient prépondérant et la vanne se referme. L'arrivée permanente de fluide amont ouvre entièrement la vanne.

Interventions :

Des tiges de commande permettent l'ouverture manuelle des vannes pour les opérations de mise en pression ou de maintenance. Suivant les constructeurs, on obtient l'ouverture manuelle en vissant ou en dévissant. La lecture de la notice technique permet de connaître le modèle.

Lors des opérations de maintenance, il est prudent d'ouvrir lentement les capuchons de protection.

Du fluide frigorigène en phase liquide peut s'y accumuler.

NF

Electrovannes

NO

0 volt

0 volt

M

Pilote electronique

Pilote régulation thermostatique

Pilote régulation amont

P

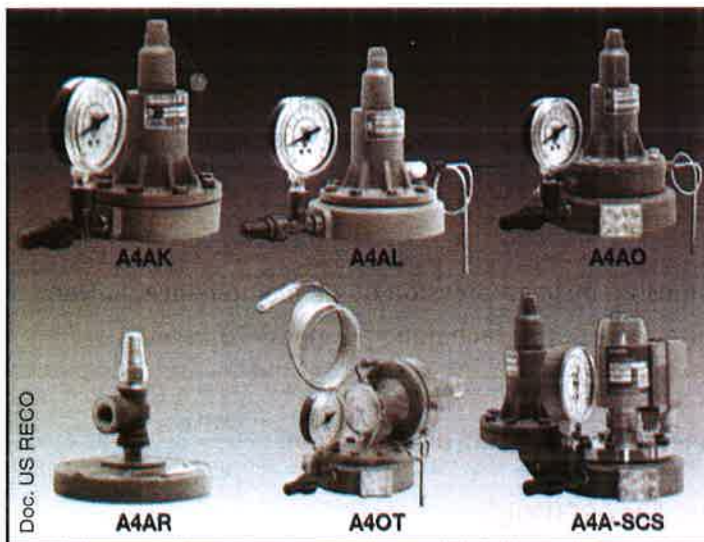
P

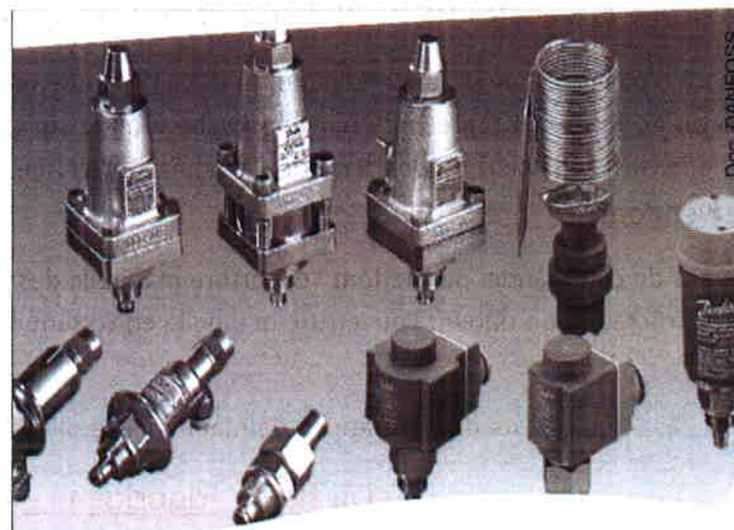
Pilote régulation aval

Pilote régulation différentielle

Pilotes adaptables sur les vannes régulatrices à servocommande.

Les pilotes sont représentés fermés ou hors tension.





Les pilotes des vannes régulatrices à servocommande.

Les constructeurs proposent différents systèmes pour piloter les corps de vannes à servocommande. L'interchangeabilité des pilotes simplifie les modifications de régulation ainsi que les opérations de maintenance. Toutes les fonctions de base sont bien entendu réalisables, mais des fonctions associées sont également possibles. La création de fonction "parallèle" ou "série" est facilitée par la modularité des pilotes. En fin de chapitre, des exemples de réalisation sont présentés.
L'utilisation d'électrovannes NF ou NO confère des fonctions T.O.R. aux vannes régulatrices.
Les pilotes les plus utilisés sont :

- les électrovannes NO ou NF,
- les pilotes pour une régulation amont,
- les pilotes pour une régulation aval,
- les pilotes pour une régulation différentielle,
- les pilotes pour une régulation thermostatique,
- les pilotes qui sont des moteurs utilisant diverses technologies.

Rappel : le pas des vis de réglage est dessiné avec un filetage "à droite". En vissant, on obtient une tension supérieure du ressort. Pour des raisons qui leur sont propres, les constructeurs peuvent opter pour un pas à "gauche". Dans ce cas, il faut dévisser pour obtenir la tension du ressort.

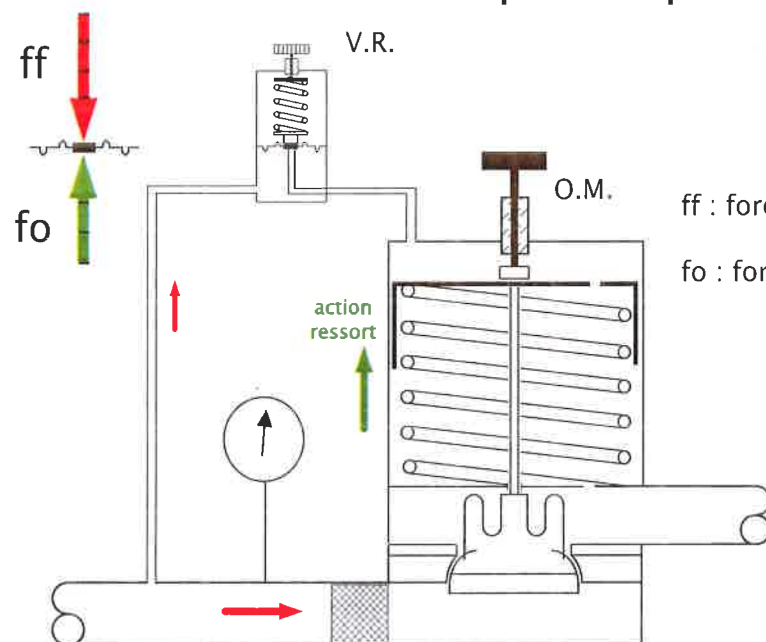
Avant d'utiliser un pilote, il convient de vérifier :

- la pression de service maximale,
- la plage d'utilisation. Deux versions sont disponibles, une pour la BP, l'autre pour la HP. Dans la version BP, 2 plages sont parfois à disposition pour affiner les réglages.

Une attention particulière doit être portée à l'étanchéité :

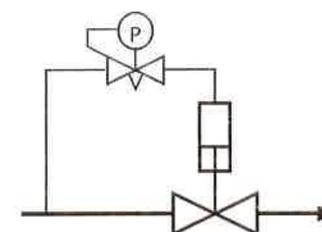
- entre l'intérieur et l'extérieur des vannes, ceci pour ne pas perdre du fluide frigorigène,
- à l'intérieur de la vanne. L'absence d'un petit joint torique perturbe le fonctionnement d'un régulateur. Il faut consulter les documents des constructeurs et être très vigilant lors du montage des vannes et régulateurs.

Vanne à servocommande pilotée par un régulateur amont.



ff : force de fermeture, c'est l'action du ressort.

fo : force d'ouverture, c'est la pression amont.



Symbole NF EN 1861

V.R. : vis de réglage

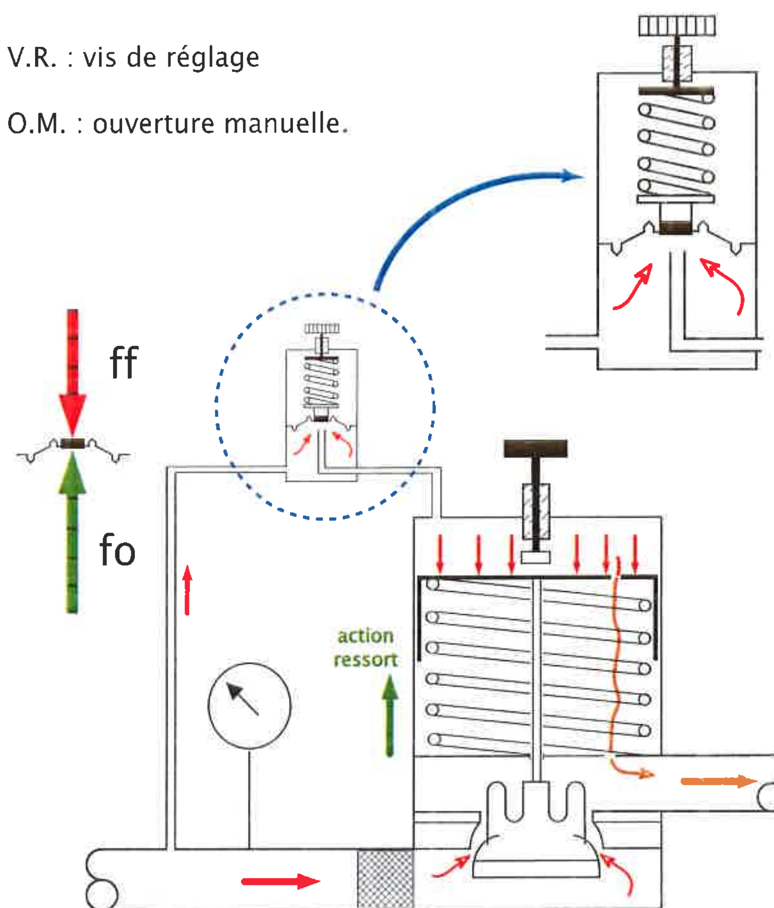
O.M. : ouverture manuelle.

La vanne est fermée.

Objectif : contrôler la pression située avant le régulateur, soit la pression "amont".

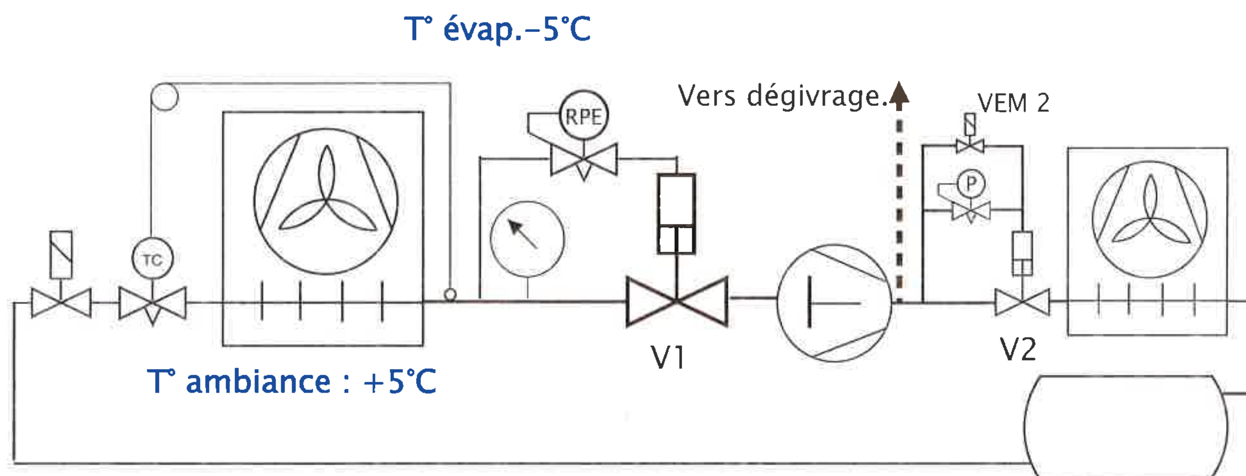
Fonctionnement :
Lorsque la pression amont, flèche verte, est supérieure à la pression du ressort du pilote, flèche rouge, le régulateur commence à s'ouvrir.
Si la pression amont diminue, la force du ressort devient prédominante, le régulateur commence à se refermer.
Les variations de la pression font réagir immédiatement le régulateur qui corrige les dérives.

Réglage :
La pose de manomètre est indispensable pour régler le régulateur. En serrant la vis de réglage, on augmente la pression souhaitée en amont, à l'inverse, on favorise l'ouverture du régulateur.



La vanne s'ouvre et module.

Vanne à servocommande pilotée par un régulateur amont : applications



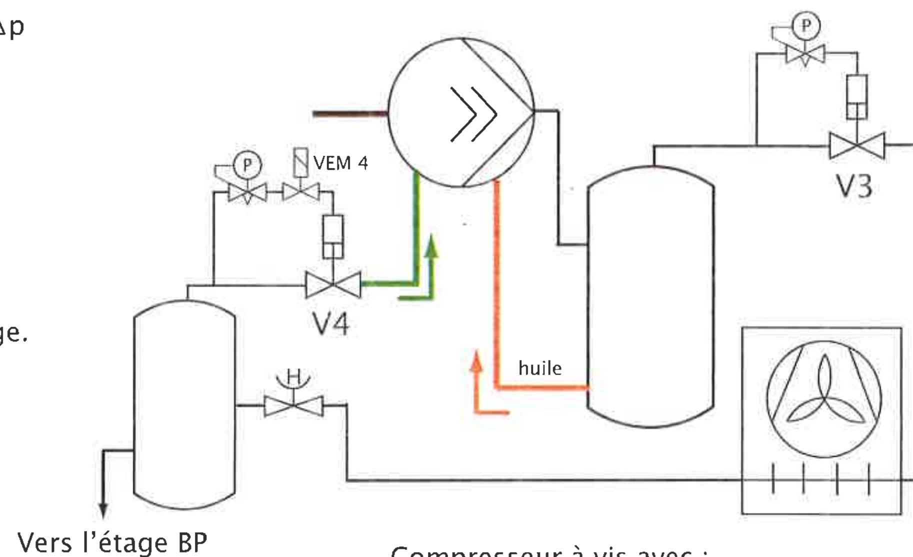
Exemples d'utilisation :

V1 contrôle la pression d'évaporation pour maintenir le bon Δp de l'évaporateur.

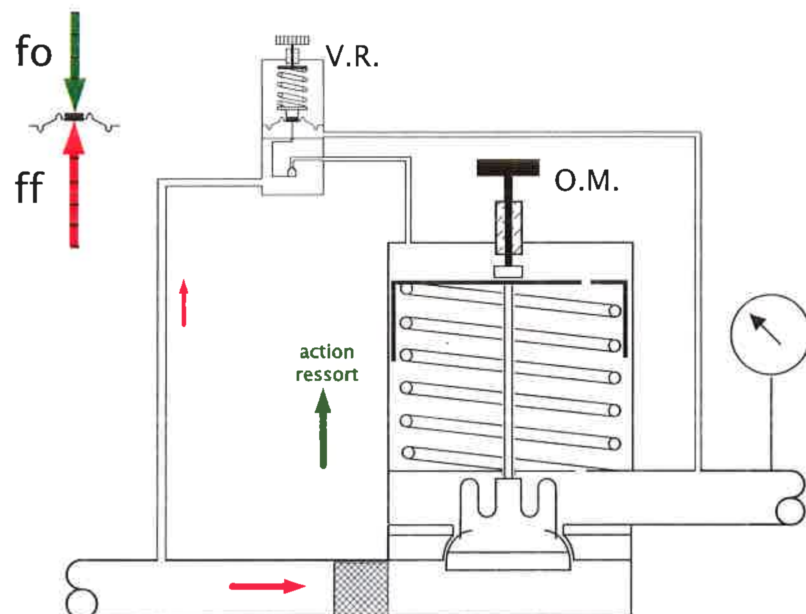
V2 contrôle la pression de refoulement pendant le dégivrage gaz chaud indépendamment de la pression de condensation. La VEM 2 est hors tension.

V3 contrôle la pression dans le séparateur pour favoriser l'injection d'huile dans le compresseur à vis.

V4 contrôle la pression dans la bouteille intermédiaire. L'enclenchement de la VEM 4 est temporisé après le démarrage.



Vanne à servocommande pilotée par un régulateur aval.



La vanne est fermée.

Objectif : contrôler la pression située après le régulateur, soit la pression "aval".

Fonctionnement :

lorsque la pression aval, flèche rouge, est inférieure à la pression du ressort du pilote, flèche verte, le régulateur commence à s'ouvrir.

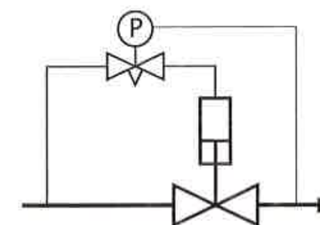
Si la pression aval augmente, la force du ressort n'est plus prédominante, le régulateur commence à se refermer.

Les forces sont représentées sur le diagramme.

Applications sur la page de droite.

V1 : vanne de démarrage.

V2 : vanne régulatrice de capacité.



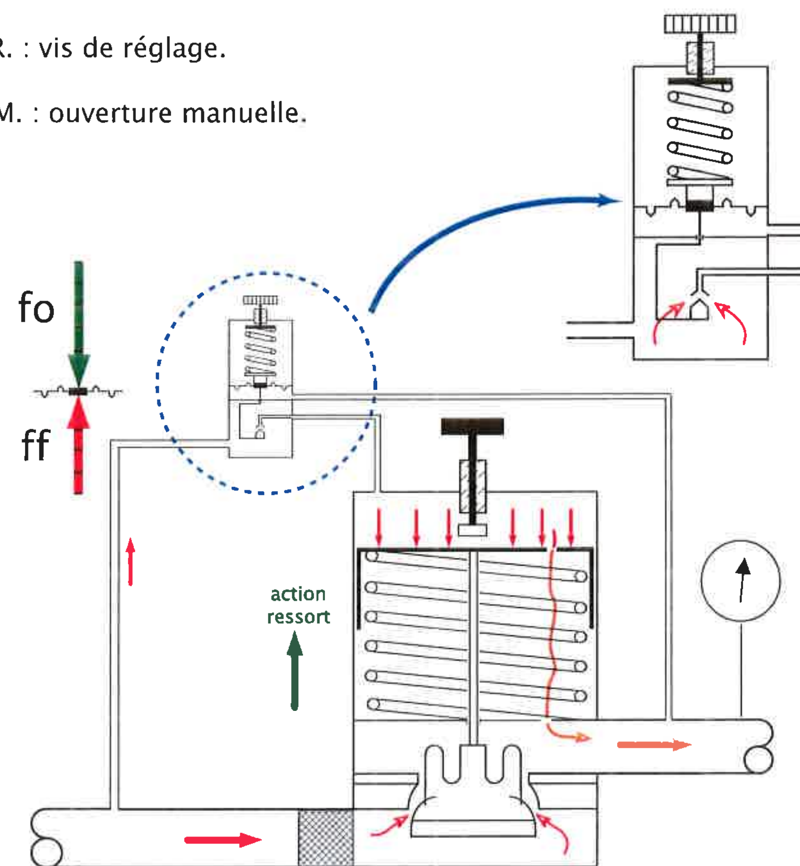
Symbole NF EN 1861

fo : force d'ouverture, c'est l'action du ressort.

ff : force de fermeture, c'est la pression aval.

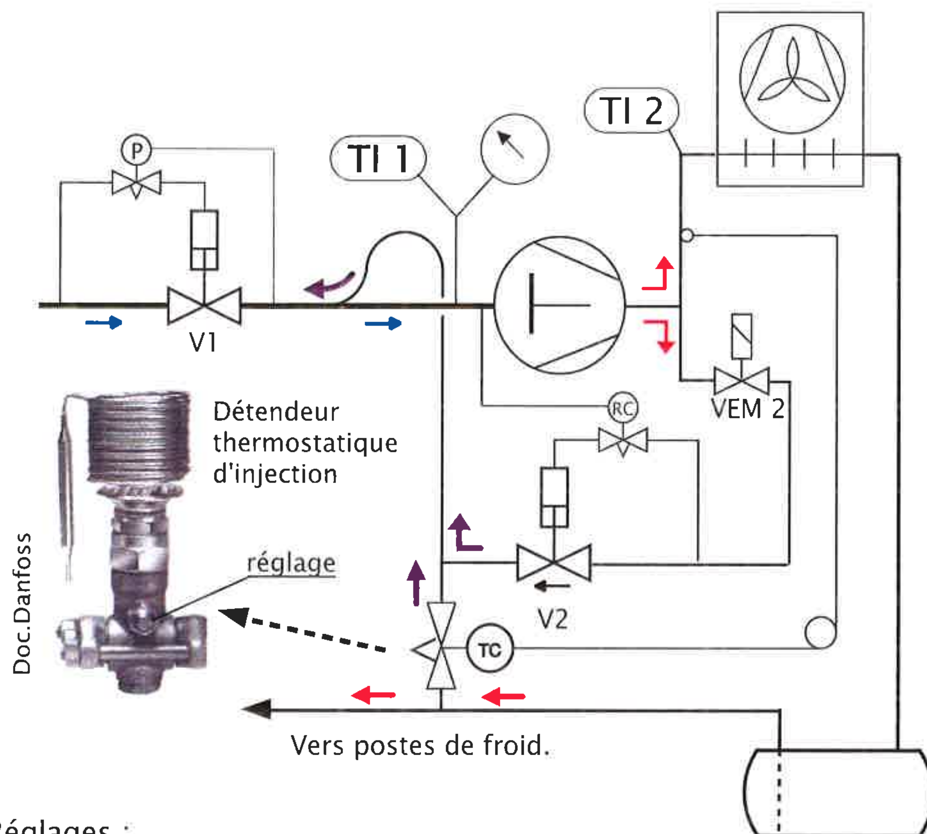
V.R. : vis de réglage.

O.M. : ouverture manuelle.



La vanne s'ouvre et module.

Vanne à servocommande pilotée par un régulateur aval : applications.



Application :

le compresseur n'est pas équipé de réduction de puissance, il faut donc un dispositif qui évite la baisse de la pression d'aspiration lorsque la charge thermique diminue.
Pilotée par un régulateur aval, la vanne V 2 a une fontion de régulateur de capacité ou plus précisément de régulateur de puissance.
Cette variation de puissance est obtenue par l'injection de gaz chaud à l'aspiration du compresseur.
Conséquences :
cette injection va non seulement augmenter la pression d'aspiration, mais aussi la température en fin de compression.
Pour corriger cet effet néfaste, il est indispensable d'injecter du fluide frigorigène afin de refroidir les gaz aspirés.
Nous utilisons un détendeur particulier, appelé détendeur d'injection.
Son bulbe est fixé sur la tuyauterie de refoulement. Lorsque sa température augmente, le détendeur injecte du fluide frigorigène qui absorbe de l'énergie en se vaporisant.

Réglages :

La vanne V2 est réglée pour ne pas atteindre une valeur de pression BP trop basse. Dans le cas des compresseur à vis ou scroll c'est le contructeur qui préconise cette valeur limite.
En serrant la vis de réglage, on favorise l'ouverture du régulateur, alors la pression aval est plus importante.
Pour obtenir une baisse de la pression aval, la force exercée par le ressort doit être faible, il faut donc desserrer la vis de réglage.

Commentaires :

La mise sous tension de la VEM 2 est temporisée à la mise en route du compresseur pour éviter de perturber le fonctionnement de V 1.
La mise hors tension de la VM 2 intervient au moment du tirage au vide (pump down).
Le réglage du détendeur d'injection fait l'objet d'une attention particulière. En effet, une quantité trop importante de fluide frigorigène injecté à l'aspiration peut endommager le compresseur.
Le contrôle des températures TI 1 et TI 2 est donc nécessaire pour ce réglage, la température TI 1 doit être supérieure à la température lue sur le manomètre. La température TI 2 doit répondre aux recommandations du constructeur.
Exemple : la température lue au manomètre = -15°C, TI 1 = 0°C les conditions de surchauffe sont correctes.
Si TI 1 tend vers -15°C c'est l'illustration que le débit du détendeur est trop important : on doit donc le fermer.

Vanne à servocommande pilotée par un régulateur différentiel.

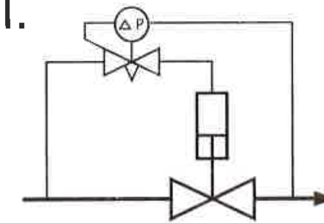
ff 1 :force de fermeture, c'est la pression aval.

ff 2 : force de fermeture, c'est l'action du ressort.

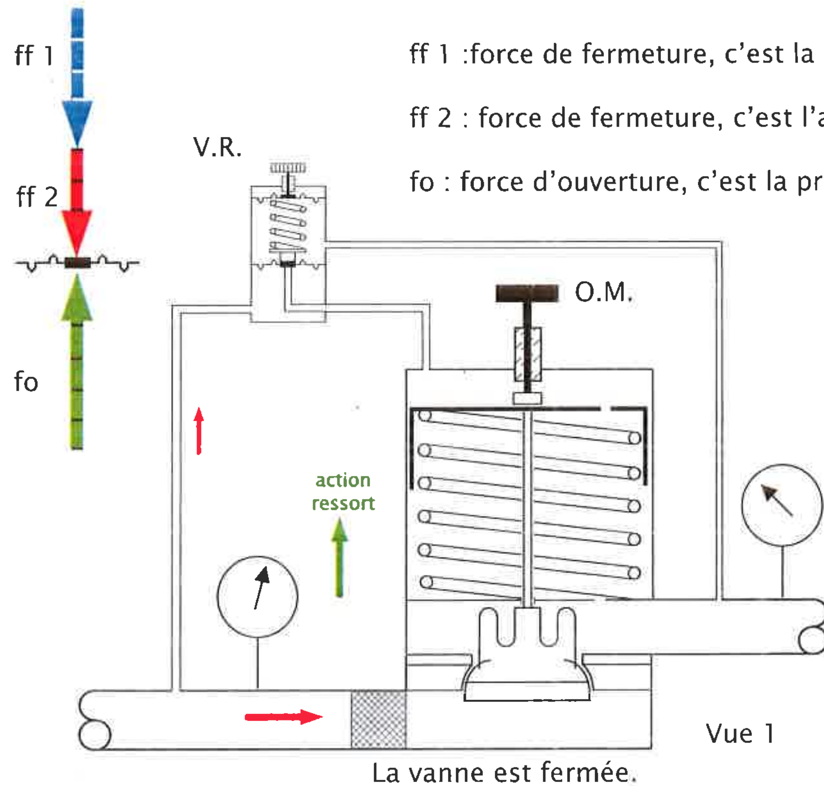
fo : force d'ouverture, c'est la pression amont.

V.R. : vis de réglage

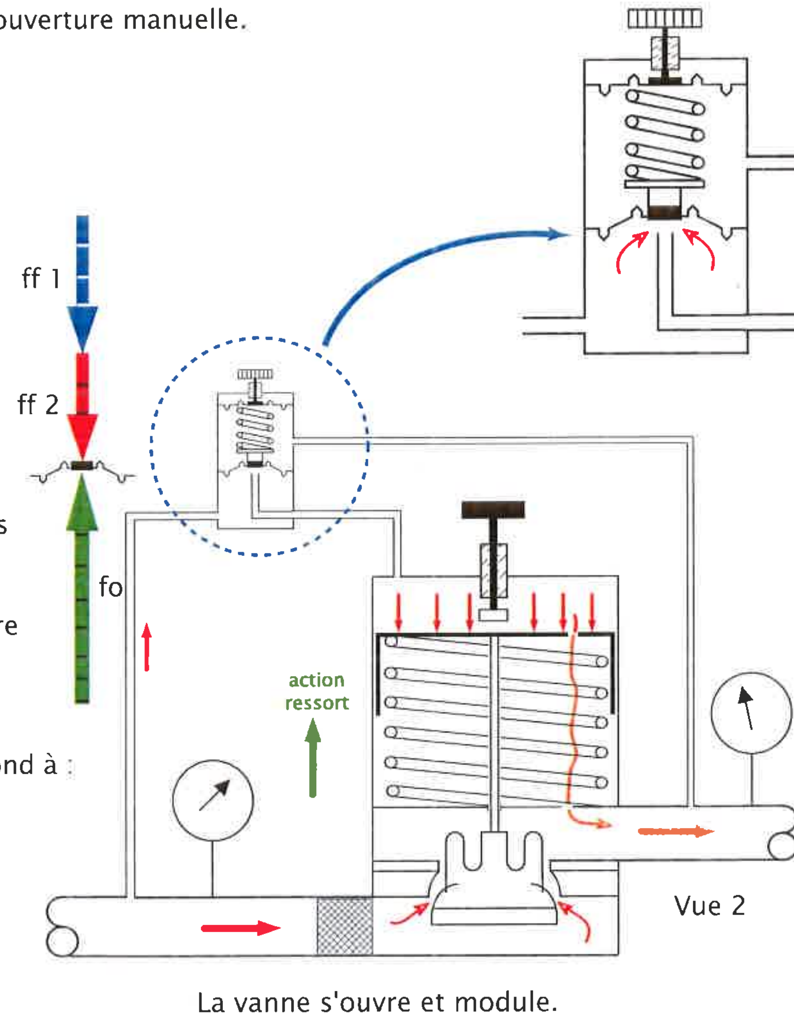
O.M. : ouverture manuelle.



Symbole NF EN 1861



La vanne est fermée.



La vanne s'ouvre et module.

Objectif : maintenir constante la différence de pression entre les 2 parties d'une installation.

Fonctionnement : le régulateur est soumis à 3 forces : ff 1, ff 2 et fo.
C'est le ressort qui détermine la différence minimum qu'il doit y avoir entre l'amont et l'aval de la vanne.
Les éventuelles variations de la pression aval sont répercutées par l'intermédiaire de la membrane.

Quelle que soit la pression aval, le début d'ouverture de la vanne correspond à :

pression d'ouverture >pression aval + pression du ressort.

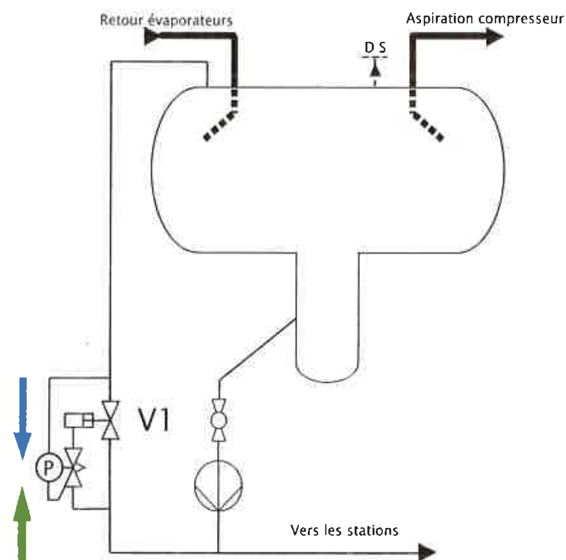
$$fo > ff\ 1 + ff\ 2$$

Réglage :

⇒ le serrage de la vis de réglage augmente le différentiel entre l'amont et l'aval, l'ouverture de la vanne est retardée,

⇒ à l'inverse, le desserage de cette vis réduit le différentiel, ce qui favorise son ouverture.

Vanne à servocommande pilotée par un régulateur de pression différentielle : applications.

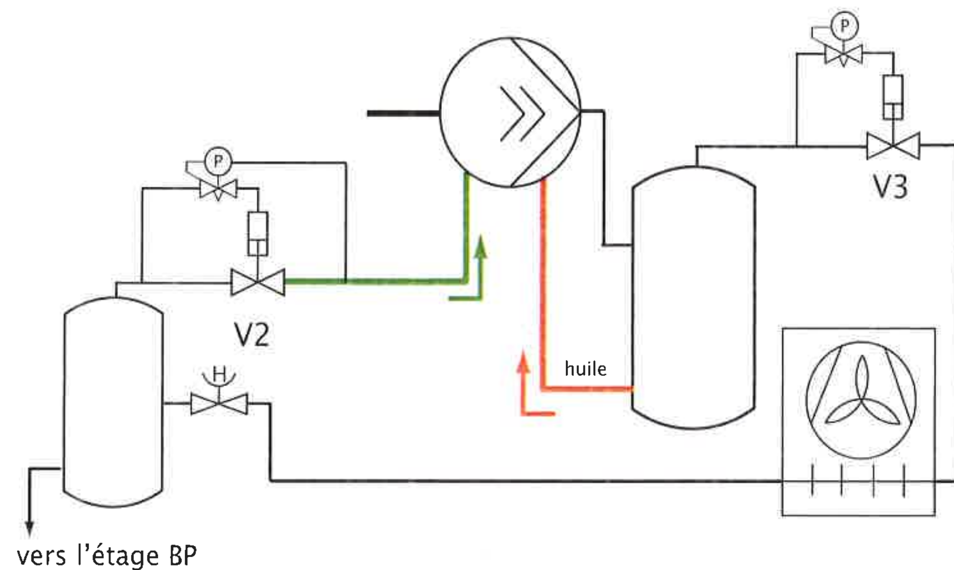


Application 1

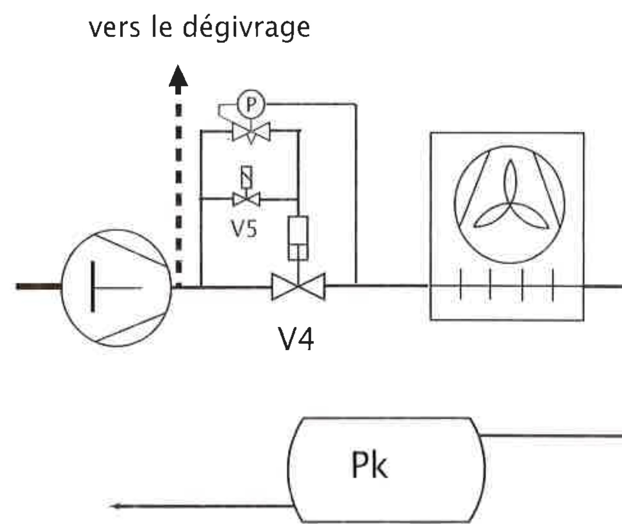
Application1. La vanne V1 est utile lorsque le nombre de postes de froid diminue. En effet, la résistance hydraulique augmente, ce qui se traduit par une élévation de la hauteur manométrique. Pour éviter à la pompe de fonctionner dans une zone déconseillée par le constructeur, la vanne écoule une partie du liquide vers la bouteille BP. Cette technique est aussi utilisée sur des réseaux d'eau froide ou d'eau glycolée.

Application 2. La vanne V2 est placée entre la bouteille "éco" et le compresseur. Sur le compresseur, la pression d'aspiration intermédiaire peut se trouver, dans certains cas, équivalente à la BP. Cette pression ne permettrait pas d'alimenter le circuit BP en liquide MP. Ainsi la pressurisation du liquide MP est toujours assurée. La vanne V3 est équipée d'un régulateur amont, elle contrôle la pression d'injection de l'huile.

Application 3. La vanne V4 équipe une installation avec dégivrage gaz chaud. Pendant la phase de dégivrage, V5 est hors service, ce qui conduit la vanne V4 à moduler.
Ce dispositif ajuste la quantité de gaz chaud utilisé pour le dégivrage en prenant en compte la pression de condensation (Pk).
L'utilisation sans compter du gaz chaud pourrait se traduire par un abaissement de Pk entraînant une mauvaise alimentation des postes de froid.

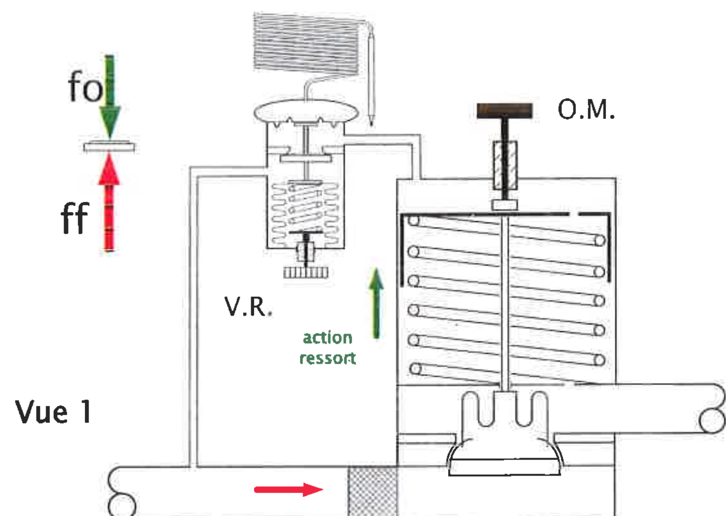


Application 2



Application 3

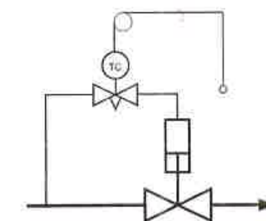
Vanne à servocommande pilotée par un régulateur thermostatique.



fo : force d'ouverture.
ff : force de fermeture.

V.R. : vis de réglage
O.M. : ouverture manuelle.

Vue 1 : la vanne est fermée.
Vue 2 : la vanne s'ouvre et module.


Symbole NF EN 1861

Objectif : contrôler directement la température d'un fluide, air ou eau, en agissant sur la capacité de la vanne à servocommande.

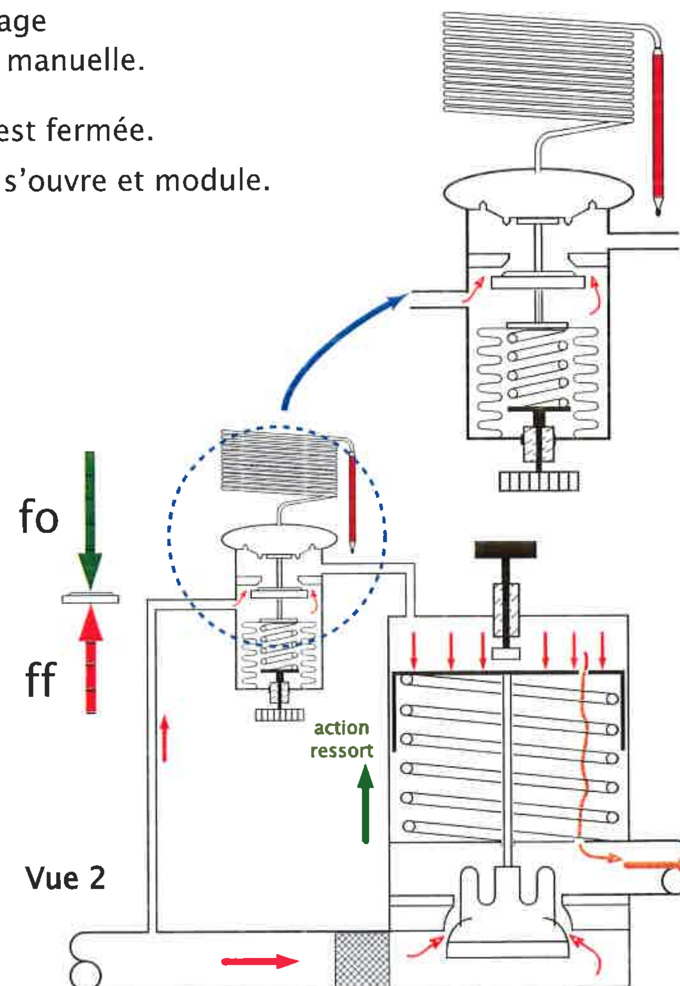
Utilisations :

⇒ refroidisseur de liquide, voir pages suivantes,
⇒ évaporateur refroidisseur d'air. Le bulbe est placé au soufflage ou à la reprise de l'air sur l'évaporateur.

Les vannes sont placées sur les conduites d'aspiration des évaporateurs.
Lorsque la température du fluide à refroidir s'élève, le bulbe transmet une augmentation de pression à une membrane.
Cette membrane agit sur un clapet qui, en s'abaissant, laisse passer du fluide amont.
Une pression s'exerce alors sur le piston qui ouvre la vanne.
Lors du refroidissement du bulbe, le clapet se referme entraînant la fermeture ou la modulation de la vanne.

Réglage :

⇒ le serrage de la vis augmente la force de fermeture.
La température du fluide augmente,
⇒ à l'inverse, le desserrage de cette vis favorise l'ouverture du clapet entraînant l'ouverture de la vanne.

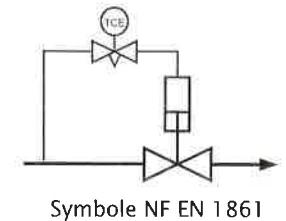


Vanne à servocommande pilotée par un moteur.

Objectif : contrôler directement la température d'un fluide, air ou eau, en agissant sur la capacité de la vanne à servo-commande.
Cette vanne n'est plus autonome contrairement aux autres vannes étudiées.
Elle intègre une boucle de régulation dont la fonction est de :

⇒ mesurer, c'est le rôle du capteur,
⇒ décider, c'est le rôle du régulateur,
⇒ actionner, c'est le rôle du dispositif de réglage, ici la vanne servocommandée.

Diverses technologies sont utilisées pour les moteurs qui commandent la vanne : moteur pas à pas, moteur magnétique, dilatation de substances chimiques, etc.



Symbole NF EN 1861

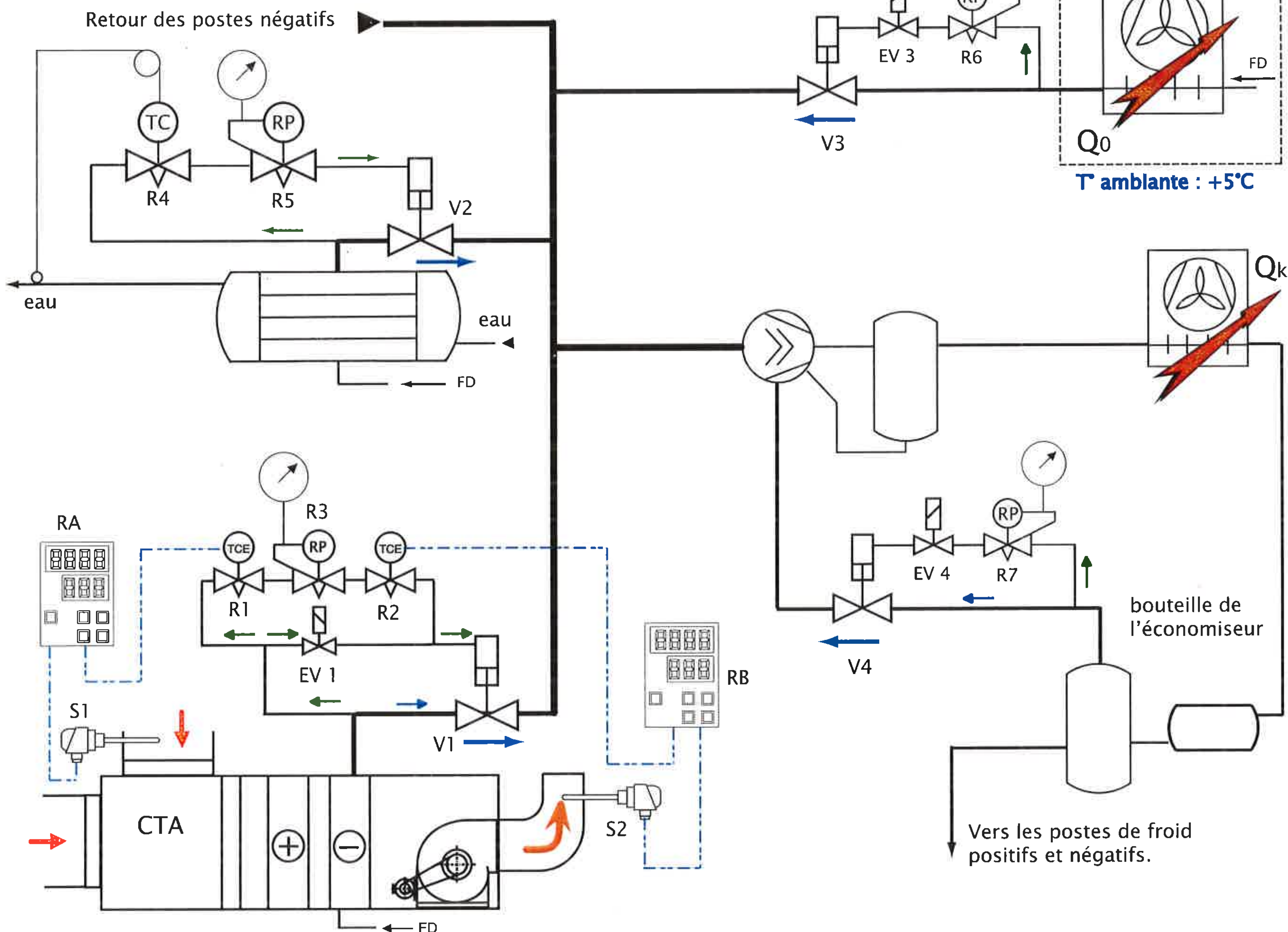
O.M. : ouverture manuelle.

Régulateur
Moteur
M
O.M.
ff
fo
action ressort
Capteur
Vue 3
Vue 4

Vue 3 : la vanne est fermée.

Vue 4 : la vanne s'ouvre et module.

Vannes multi-fonctions à servocommande : applications



Nota : seuls les composants indispensables à la compréhension du sujet traité sont représentés.

FD

Qk

ur

Vannes multi-fonctions à servocommande : applications

Informations concernant le document :

⇒ les flèches bleues indiquent les circuits principaux,

⇒ les flèches vertes correspondent aux circuits de pilotage,

⇒ FD c'est du fluide frigorigène détendu, c'est l'alimentation de l'évaporateur.

Pilotage de la vanne V1 : régulation d'un caisson de traitement d'air.

La sonde S1 mesure la température de reprise de l'air. Suivant le point de consigne, le régulateur RA transmet au pilote R1

⇒ un signal d'ouverture si la température augmente,
⇒ un signal de fermeture si la température baisse.

La sonde S2 mesure la température de soufflage. Suivant le point de consigne, le régulateur RB transmet au pilote R2 :
⇒ un signal de fermeture si la température baisse,
⇒ un signal d'ouverture si la température augmente.
Ce dispositif évite de projeter de l'air trop froid sur les occupants du local.
R3 est un régulateur amont qui limite la baisse de la pression d'aspiration et les risques de givrage inhérents.
A sa mise sous tension, l'EV1 ouvre impérativement la vanne au moment du tirage au vide (pump down).

Pilotage de la vanne V2 : régulation d'un refroidisseur de liquide.

R4 est un pilote thermostatique qui :
⇒ ouvre la vanne V2 si la température du liquide augmente,
⇒ ferme la vanne V2 si la température du liquide diminue.
R5 est un régulateur amont qui évite la baisse de pression d'aspiration et les risques de gel de l'évaporateur.

Pilotage de la vanne V3 : régulation de la température d'évaporation pour obtenir une forte hygrométrie.

R6 est un régulateur amont qui va maintenir une pression correspondante à +1°C.
L'EV 3 permet la mise en service ou non de l'évaporateur. C'est une fonction T.O.R.

Pilotage de la vanne V4 : régulation de la pression dans la bouteille intermédiaire raccordée à l'économiseur du compresseur à vis.
R7 est un régulateur amont. Son réglage assure la pression du liquide MP pour alimenter correctement le circuit BP.
L'EV4 ouvre le pilotage de la vanne après la phase de démarrage du compresseur.
Cette temporisation évite la surcharge du moteur électrique.

Vannes à servocommande pilotées par des électrovannes.

Objectifs : assurer l'ouverture ou la fermeture d'un circuit avec une fonction "tout ou rien" (T.O.R).

Utilisation : sur les collecteurs d'aspiration d'installations industrielles, en particulier à basse température.

Conception :

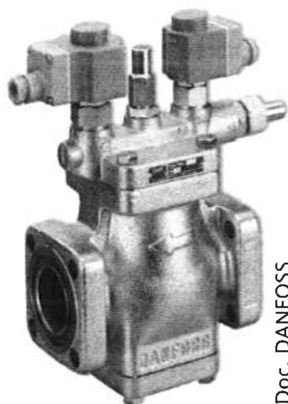
Elles reprennent la constitution de base des vannes à servocommande mais se différencient par des détails de fabrication :

- ⇨ la forme des clapets leur confère une fonction T.O.R.
- ⇨ il n'y a pas d'orifice d'équilibrage sur le piston,
- ⇨ placées à la fin d'un circuit, elles ne possèdent pas de filtre intégré,
- ⇨ elles ne créent pas ou très peu de pertes de charge.

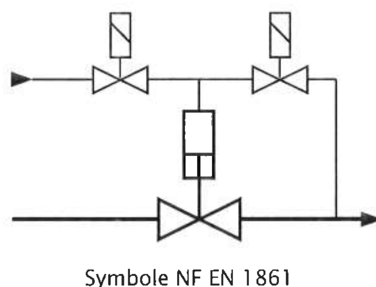
Fonctionnement :

Lorsque le gaz HP arrive sur le dessus du piston, celui-ci descend entraînant le clapet : la vanne est ouverte.
Pour obtenir la fermeture de la vanne, il faut extraire ce gaz HP en le dirigeant vers la BP.
Le pilotage de la vanne se réalise avec des électro-vannes : normalement fermée (N.F.) ou normalement ouverte (N.O.).
Le matériel proposé par les fabricants ou l'automatisme souhaité guident le choix :

- ⇨ Le montage1 utilise 2 électro-vannes normalement fermées,
- ⇨ les montages 2 et 3 utilisent 1 électro-vanne normalement fermée et 1 electro-vanne normalement ouverte.



Doc. DANFOSS



Symbole NF EN 1861



Doc. US RECO

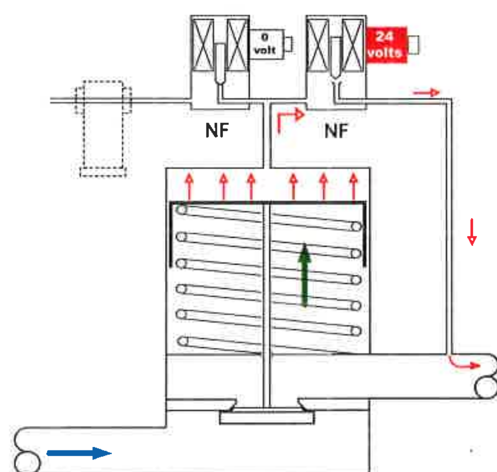
Commentaires :

A la fin d'un dégivrage par gaz chaud, la pression dans l'évaporateur est relativement élevée.
A l'ouverture de la vanne d'aspiration, cette pression peut engendrer un "coup de bélier" dans la tuyauterie.
Pour éviter ce phénomène, 2 solutions :

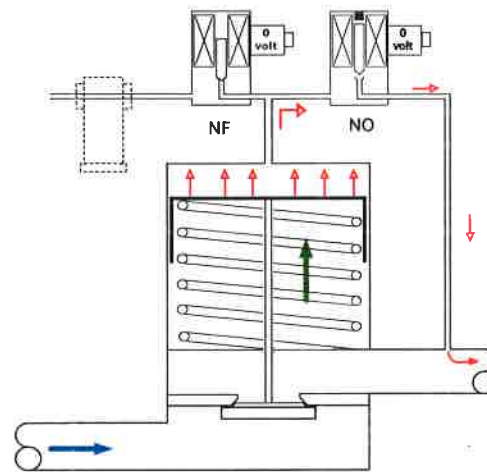
- ⇨ utiliser des vannes à ouverture en 2 étapes.
  Dans un premier temps, le clapet s'entrouve pour dépressuriser l'évaporateur, dans un second temps, le clapet s'ouvre en totalité.
- ⇨ mettre en parallèle avec la vanne principale une petite électrovanne qui assure la fonction de dépressurisation avant l'ouverture de la vanne principale.

on :

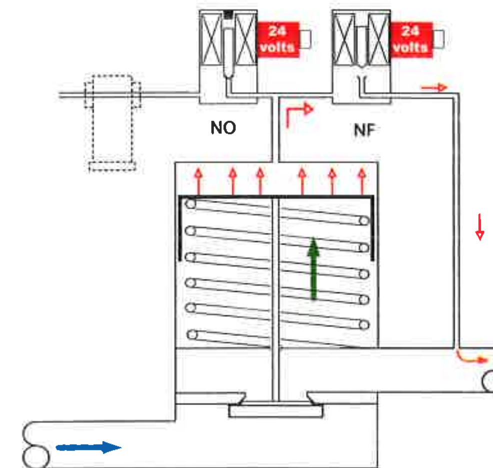
Vannes à servocommande pilotées par des électrovannes



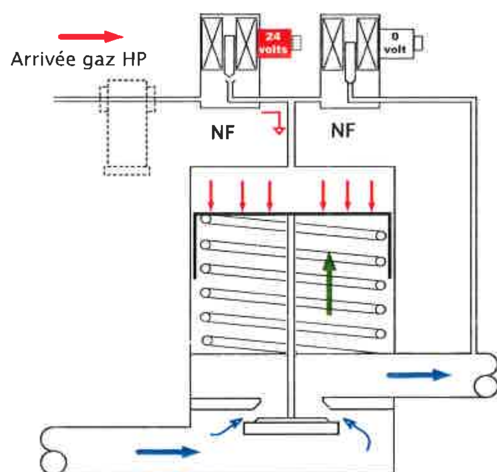
Vanne fermée



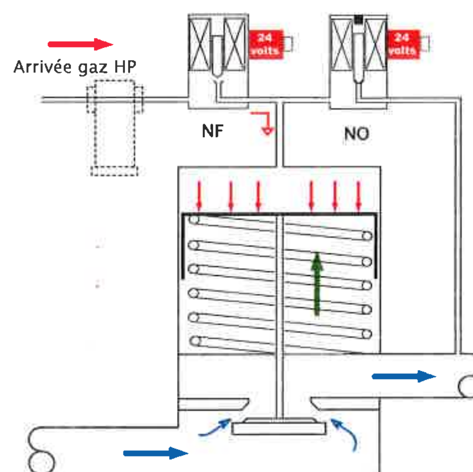
Vanne fermée



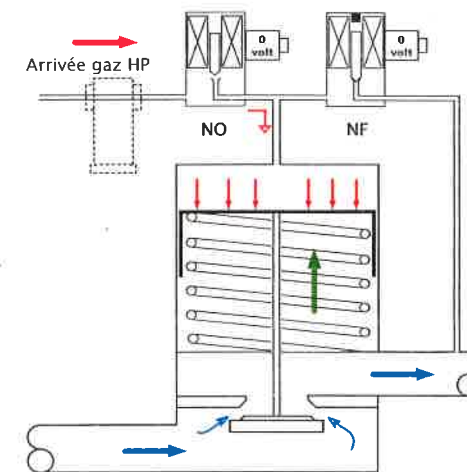
Vanne fermée



Vanne ouverte



Vanne ouverte



Vanne ouverte

Montage 1

Montage 2

Montage 3

ité.

Nota : bien que ne figurant pas sur ces vues, des dispositifs d'ouverture manuelle équipent les vannes.

Utilisation d'une vanne pilotée de type PMFL.

Circuit mono-étagé

DS

LZAH 1

Installation N°1
Evaporateur refroidisseur d'air

M
3~

DS

Tuyauterie de liaison

PMFL

SV

DS

LZAH

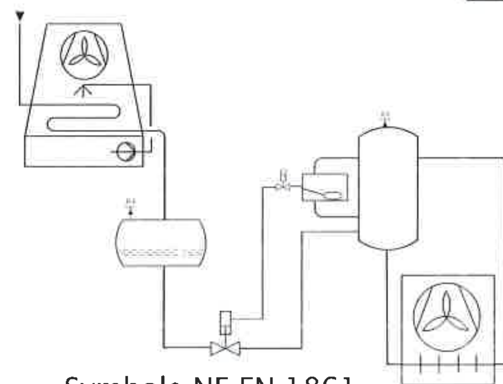
action
ressorts

Installation N°2
Evaporateur multi-tubulaire
refroidisseur de liquide

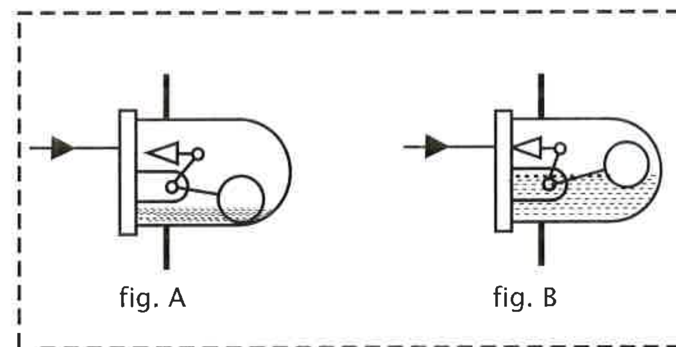
24 a

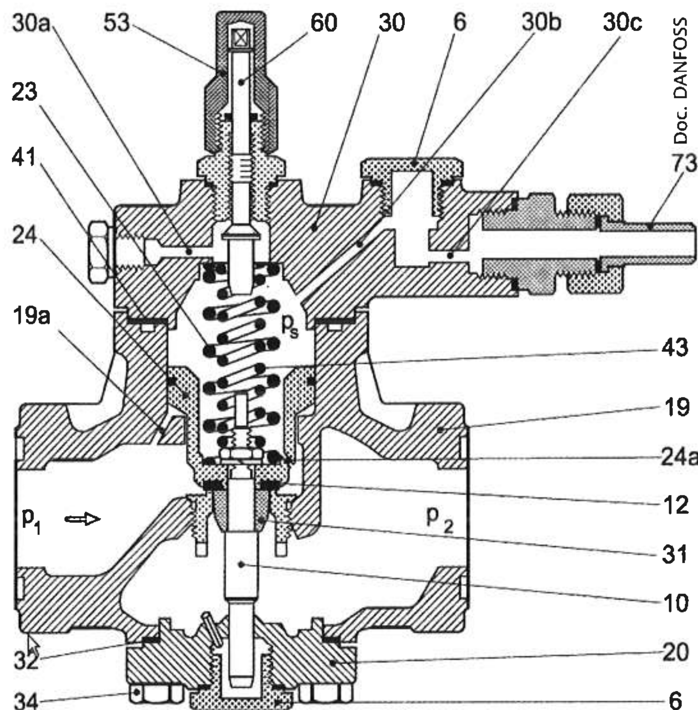
19 a

Liquide détendu
vers la BP



Symbole NF EN 1861



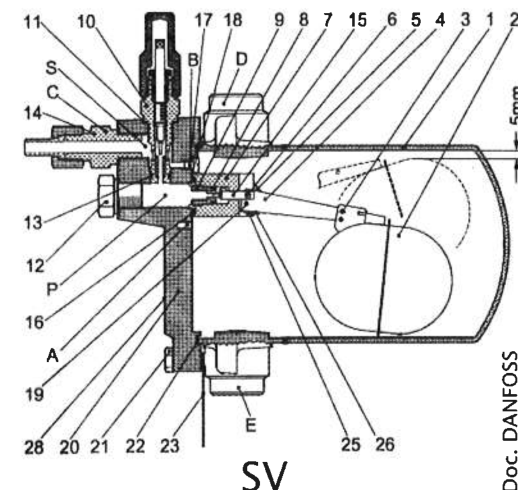


PMFL

Régulateur modulant de niveau à servocommande

→ Vers flotteur SV

6.	Bouchon du fond
10.	Tige de pression
12.	Clapet de vanne
19.	Corps de vanne
19a.	Canal dans corps
20.	Couvercle de fond
23.	Ressort principal
24.	Servopiston
24a.	Canal dans servopiston 24
30.	Couvercle supérieur
30a.b.c.	Canaux du couvercle 30
31.	Cône de vanne
43.	Ressort supplémentaire
44.	Raccord manométrique
53.	Capuchon
60.	Tige de réglage
73.	Raccord pilote



- fonctionnement basse pression–

1	Boitier	10	Unité réglage manuel vanne d'étranglement
2	Flotteur		
4	Bras du flotteur	14	Raccord du pilote
5	Liaison avec flotteur	15	Pointeau
6	Axe	19	Axe
7	Corps du régulateur	20	Couvercle
9	Orifice de détente	26	Rondelle/ Ressort

Le contrôle de niveau à l'aide d'un détendeur basse pression.

Le détendeur BP, communément appelé "flotteur BP", équipe des installations de type "noyées".

Mis en place du coté BP ou MP, le flotteur contrôle directement le niveau de fluide frigorigène. La partie supérieure du détendeur est en liaison avec la phase vapeur de la bouteille séparatrice, la partie inférieure avec la phase liquide. A l'aide d'une liaison mécanique, le flotteur actionne un pointeau qui obstrue ou pas un orifice en liaison avec une tuyauterie de liquide (HP ou MP). Fig. A ou B.

Les 2 situations caractéristiques du fonctionnement.

* Le niveau est atteint dans la bouteille séparatrice ou l'évaporateur, le flotteur est porté et le pointeau est fermé (Fig. B).
  La vaporisation du fluide et l'aspiration des vapeurs par le compresseur font baisser le niveau de liquide.
* Le flotteur descend en déplaçant le pointeau qui libère l'entrée du FF.
  Le flotteur suit les fluctuations de niveau dans la bouteille séparatrice, il maintient ainsi un niveau constant.

Les différents modèles de flotteurs BP :

⇨ installation N° 1, le mécanisme est fixé sur une bride qui est solidaire de la bouteille séparatrice,

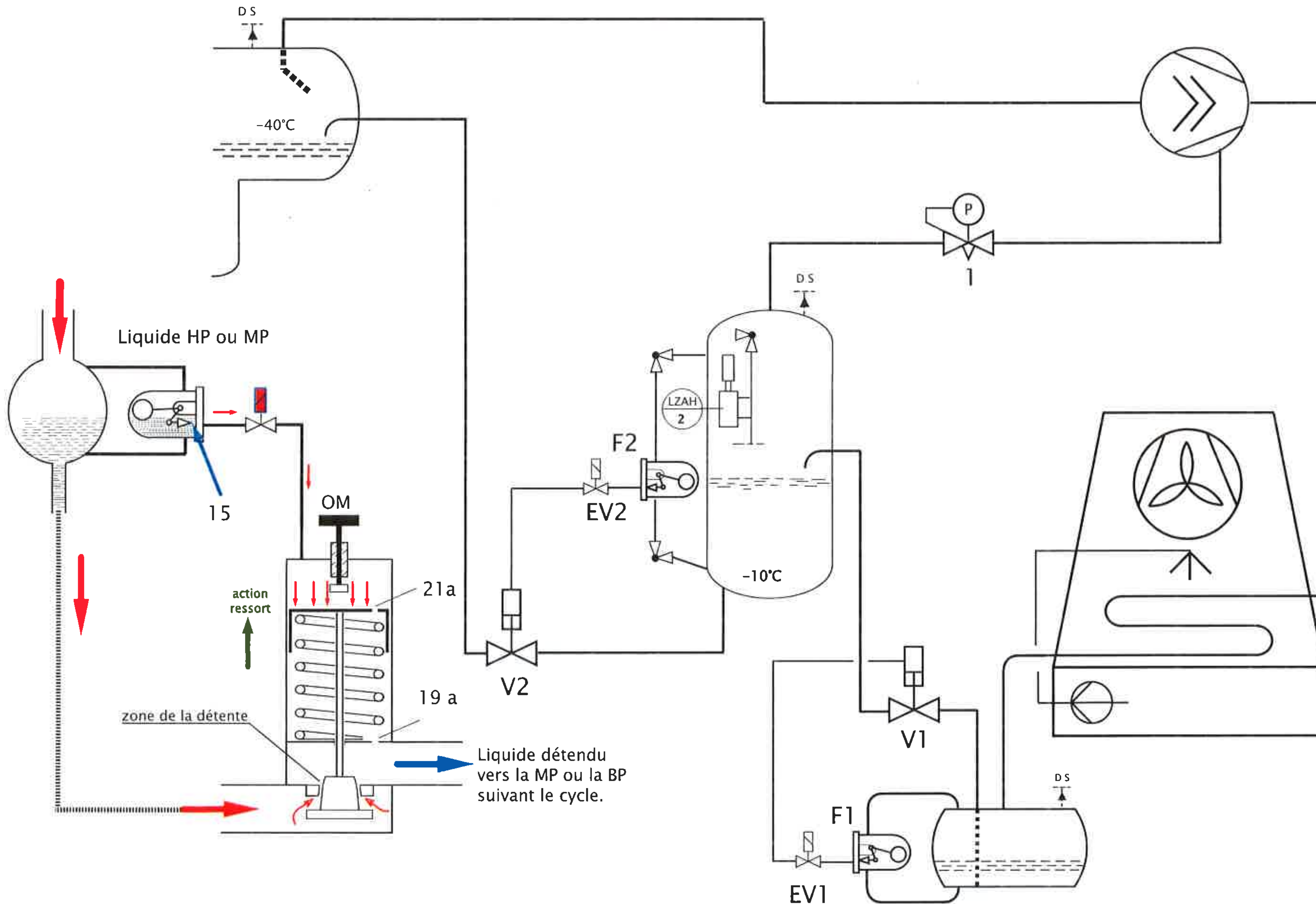
⇨ installation N° 2, un flotteur de type SV et une vanne à servocommande PMFL sont associés.

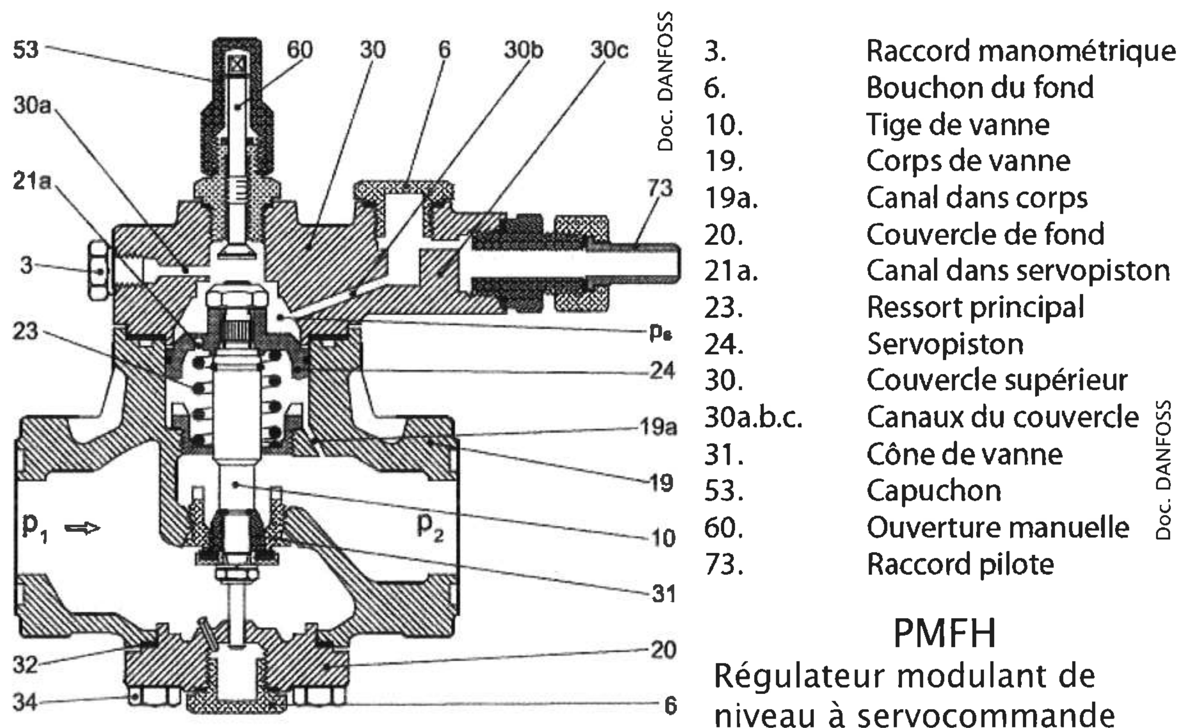
C'est le flotteur SV qui détecte le niveau dans l'évaporateur, la tuyauterie de liaison met en communication la phase vapeur de l'évaporateur et le dessus du servopiston. La pression amont communique par l'orifice 19a et s'exerce sous le servopiston. Lorsque le niveau est bas, cas de notre installation, c'est la pression BP qui s'exerce au-dessus du servopiston, la pression amont est dominante, donc la vanne s'ouvre.

Le FF est injecté, le niveau monte, le pointeau du flotteur BP se referme. Par l'intermédiaire de l'orifice 24a, le servopiston est soumis sur ses 2 faces à une même pression, c'est le ressort qui va refermer la vanne.

Utilisation de flotteurs SV et de vannes pilotées de type PMFH.

Dispositif bi-étagé Injection totale.



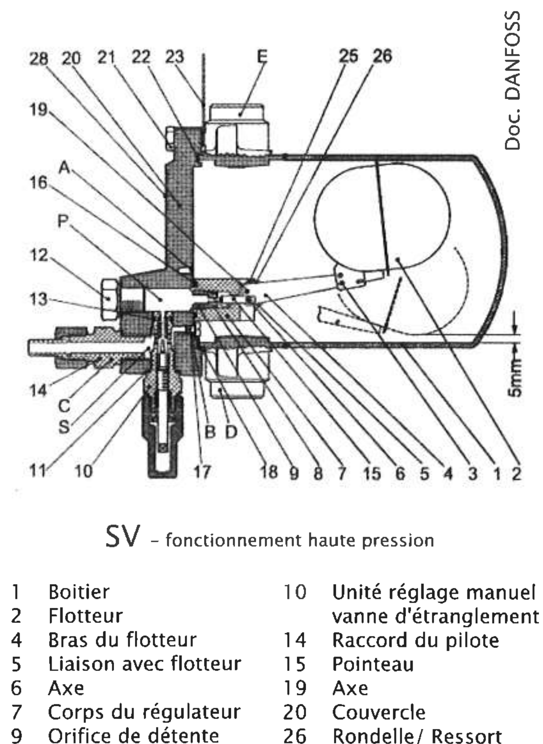


3.	Raccord manométrique
6.	Bouchon du fond
10.	Tige de vanne
19.	Corps de vanne
19a.	Canal dans corps
20.	Couvercle de fond
21a.	Canal dans servopiston
23.	Ressort principal
24.	Servopiston
30.	Couvercle supérieur
30a.b.c.	Canaux du couvercle
31.	Cône de vanne
53.	Capuchon
60.	Ouverture manuelle
73.	Raccord pilote

Doc. DANFOSS

PMFH

Régulateur modulant de niveau à servocommande



SV - fonctionnement haute pression

1	Boitier	10	Unité réglage manuel vanne d'étranglement
2	Flotteur	14	Raccord du pilote
4	Bras du flotteur	15	Pointeau
5	Liaison avec flotteur	19	Axe
6	Axe	20	Couvercle
7	Corps du régulateur	26	Rondelle/ Ressort
9	Orifice de détente		

Le système présenté est un dispositif de contrôle de niveau de type HP.

Le principe de fonctionnement et les contraintes correspondent aux commentaires situés à la page 37.

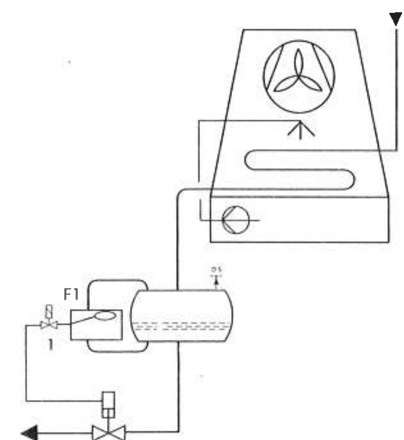
Description.

Il associe un flotteur de type SV (F1 et F2) et
une vanne à servocommande PMFH (V1 et V2).

Sur la partie HP, il est nécessaire d'équiper l'installation d'un petit réservoir.

Fonctionnement.

Quand le niveau de liquide augmente dans le flotteur SV, le pointeau rep.15 libère le liquide qui pousse le servopiston.
La vanne, PMFH, commence à s'ouvrir, elle module en fonction du niveau à contrôler.
Lorsque le pointeau se referme, niveau en baisse, le liquide HP ou MP s'échappe vers l'aval par les orifices 21a et 19a. Le ressort repousse le servopiston.
Une électrovanne, EV1 ou EV2, interrompt l'arrivée de liquide sur le servopiston, alors la vanne se ferme.



Symbole NF EN 1861

Notes personnelles

Les compresseurs à vis.

Les compresseurs à vis- Généralités.

Les compresseurs à vis sont des machines volumétriques, l'augmentation de pression s'obtient par la réduction d'un volume.
Deux types sont disponibles sur le marché :

⇨ les compresseurs mono-vis (monoscrew),

⇨ les bi-vis.

Le compresseur à vis présente par rapport au compresseur à pistons 2 avantages :

⇨ un meilleur rendement volumétrique,

⇨ une température en fin de compression plus faible.

Mais bien d'autres caractéristiques sont prises en compte dans le choix : vis ou pistons.

Le débit volume souhaité dépend :

⇨ du diamètre des rotors,

⇨ du rapport L/D (longueur de la vis/ diamètre de la vis),

⇨ de la vitesse d'entrainement de l'arbre, parfois complété par un multiplicateur,

⇨ de l'entrainement du rotor mâle ou femelle.

Dans le cas du compresseur à vis, l'huile revêt une importance particulière. En effet, au-delà de la fonction habituelle de lubrification, elle assure l'étanchéité entre les vis et le carter et entre les vis elles-mêmes. L'huile génère ainsi une meilleure compression des gaz. L'huile qui est refroidie avant l'injection dans le compresseur aide au refroidissement des gaz en fin de compression.
La température de refoulement est d'environ 20 K plus basse que dans le cas d'un compresseur à pistons. L'huile participe aussi à la commande des tiroirs de réduction de puissance et/ou du tiroir de réglage de Vi. La quantité injectée peut représenter 1 % du débit volume balayé.
Pour atteindre ces différents objectifs, il faut maîtriser 3 points importants :

La séparation.

Séparer l'huile du fluide frigorigène.

Le refroidissement.

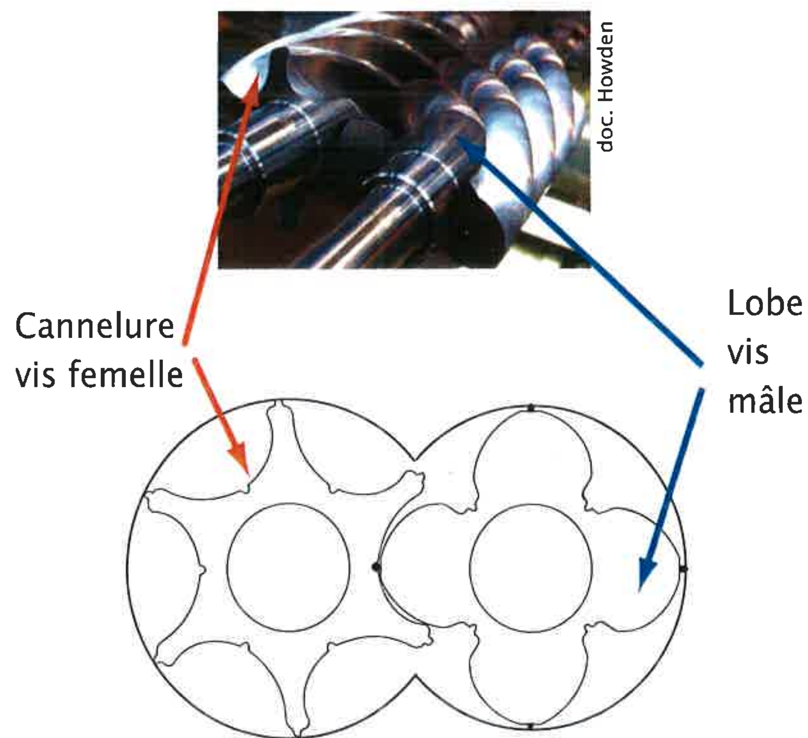
Refroidir l'huile avant son injection dans le compresseur.

L'injection.

Injecter l'huile en différents points du compresseur.

Le compresseur bi-vis.

Ces compresseurs sont une application de la licence SRM.
Les 2 vis ou rotors ont des profils complémentaires.
Le rotor mâle est formé de lobes, le rotor femelle de cannelures. Suivant la construction, le rotor mâle est constitué de 4 ou 5 lobes et le rotor femelle de 6 ou 7 cannelures.
Ces rotors sont placés dans 2 cylindres sécants usinés dans le carter avec des jeux très faibles.
La précision d'usinage et l'injection d'huile concourent au bon rendement du compresseur.
La rotation des 2 rotors emprisonne le gaz, le déplace pour ensuite le comprimer.



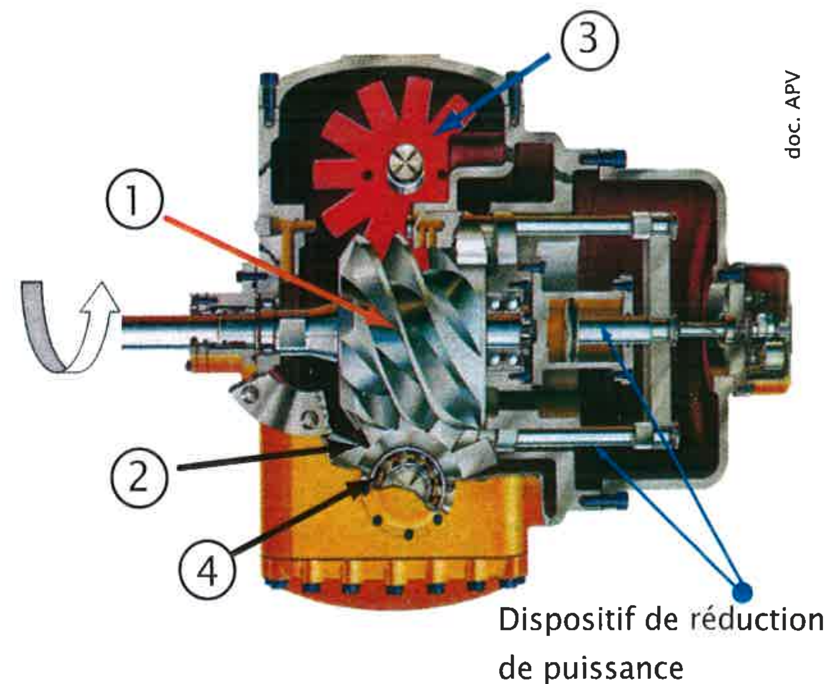
Le compresseur monovis.

Cette technologie est issue de la licence de l'ingénieur français Zimmer.
Le rotor central en fonte est assimilable au rotor femelle du compresseur bi-vis. (1)

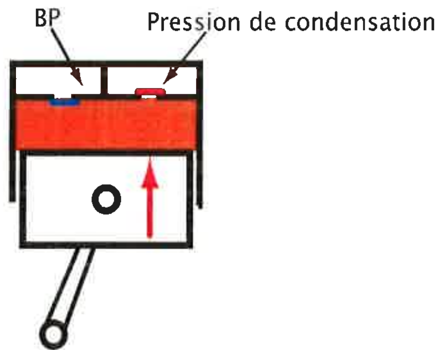
Les rotors satellites au nombre de 1, 2 ou 4 sont en acier (2) mais des pièces rapportées en matériaux composites assurent l'étanchéité (3)

Ces pieces rapportées sont interchangeables.

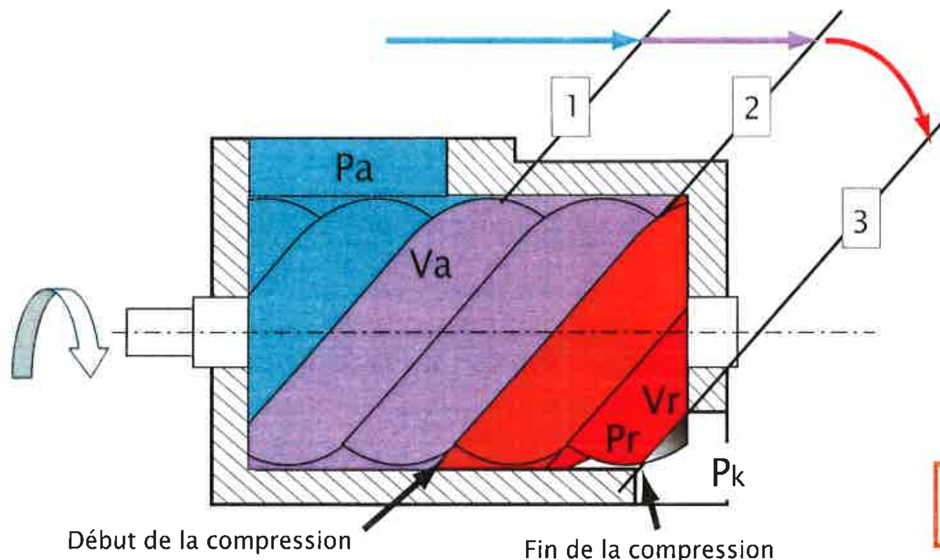
Le satellite correspond au rotor mâle du compresseur bi-vis.
Les satelites qui s'engrainent dans ce rotor sont montés libres avec 2 roulements. (4)



Compresseurs à vis et à pistons : différences dans la compression des gaz.



La compression du gaz dans un compresseur à pistons dépend des conditions extérieures. En effet, le piston dans sa course ascendante comprime le gaz jusqu'à l'ouverture du clapet HP.
Cette ouverture est liée à la pression régnant dans la culasse après le cylindre, c'est la pression de condensation.
Cette pression de condensation dépend elle-même de la capacité du condenseur à rejeter plus ou moins facilement l'énergie contenue sous forme de chaleur dans le fluide frigorigène.



Le compresseur à vis est dépourvu de clapet, son principe de fonctionnement est donc différent.

Evolution du gaz dans un compresseur à vis :

- ⇨ le gaz entre dans le compresseur,
- ⇨ après cette phase, le gaz est isolé du collecteur d'aspiration, point 1,
- ⇨ de 1 à 2 le gaz translate vers la zone de compression,
- ⇨ de 2 à 3 le volume interlobaire se réduit créant une augmentation de pression.

Un volume de gaz Va à la pression Pa est isolé de l'aspiration, après compression il reste un volume Vr à la pression Pr.
Cette compression est indépendante des conditions extérieures (P_k).

> En fonctionnement, l'idéal est lorsque la pression Pr est égale à la pression de condensation P_k.

Pour atteindre cet objectif, un paramètre caractérise le compresseur à vis, c'est le Vi.

$$Vi = \text{"volume index" ou "volume intrinsèque"} = \frac{Va}{Vr} = \frac{\text{Volume de gaz retenu après la fermeture de l'aspiration (point 1)}}{\text{Volume de gaz disponible avant l'ouverture du refoulement (point 3)}}$$

Le volume index ou le volume intrinsèque : le Vi.

Le volume de gaz Vr ainsi que sa pression Pr sont liés à la position de l'orifice de sortie.

Deux exemples pour illustrer cette particularité :

- ⇨ sur la figure 1, l'orifice est placé à gauche, ce qui libère plus rapidement les gaz refoulés limitant ainsi la pression. Cet emplacement convient pour un équipement de climatisation dont le taux de compression est faible.
- ⇨ sur la figure 2, l'orifice est déplacé à droite, les gaz sont alors maintenus plus longtemps dans le compresseur, ceci se traduit par une pression plus élevée.
  Cet emplacement convient pour un équipement de congélation car le taux de compression est élevé.

Les constructeurs positionnent l'orifice de sortie selon le régime nominal du compresseur, soit par la mise en place d'un tiroir plus ou moins long ou par des tiroirs positionnables par vis-écrou avant la mise en service.

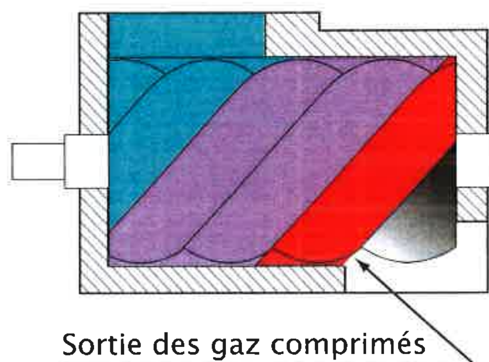


Figure 1.

Vi faible

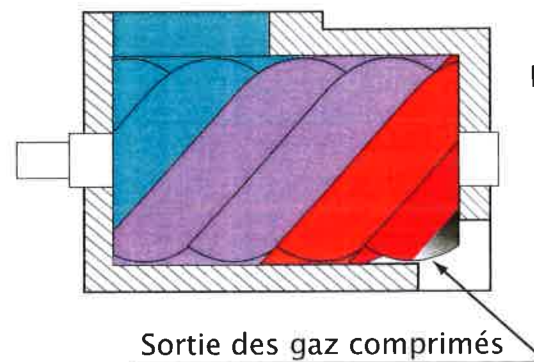


Figure 2.

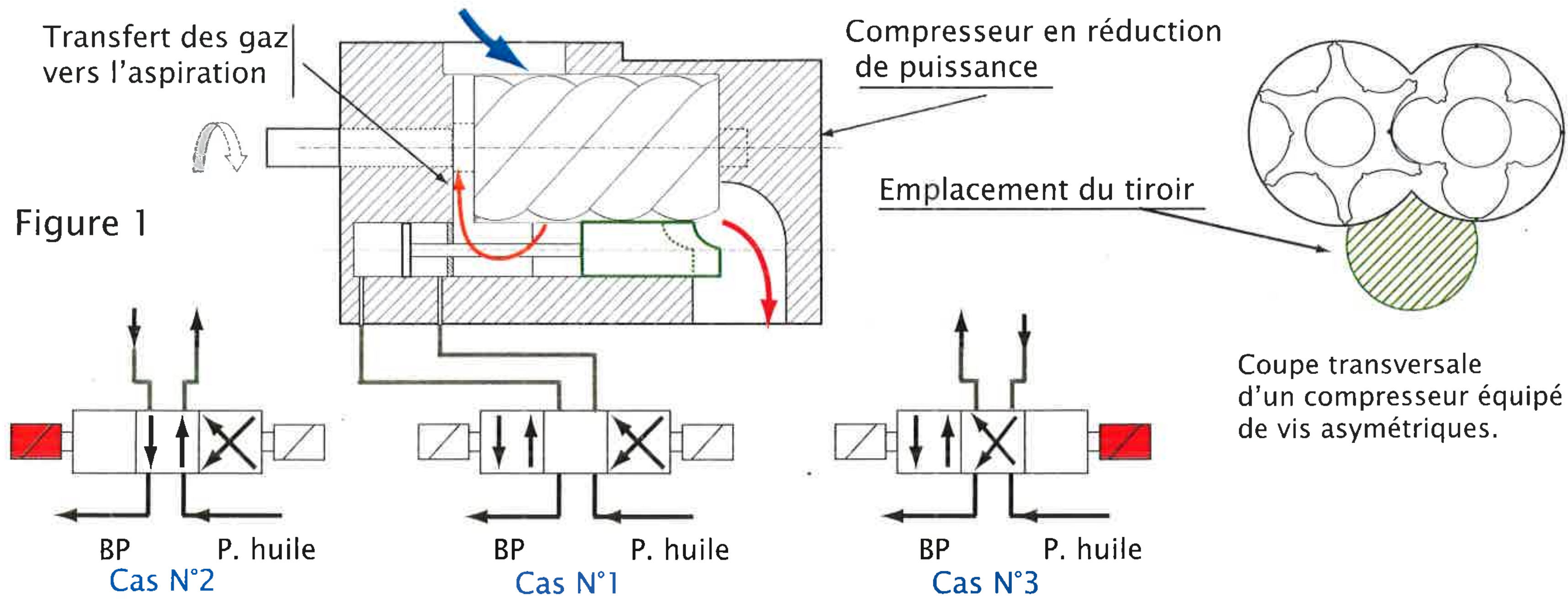
Vi fort

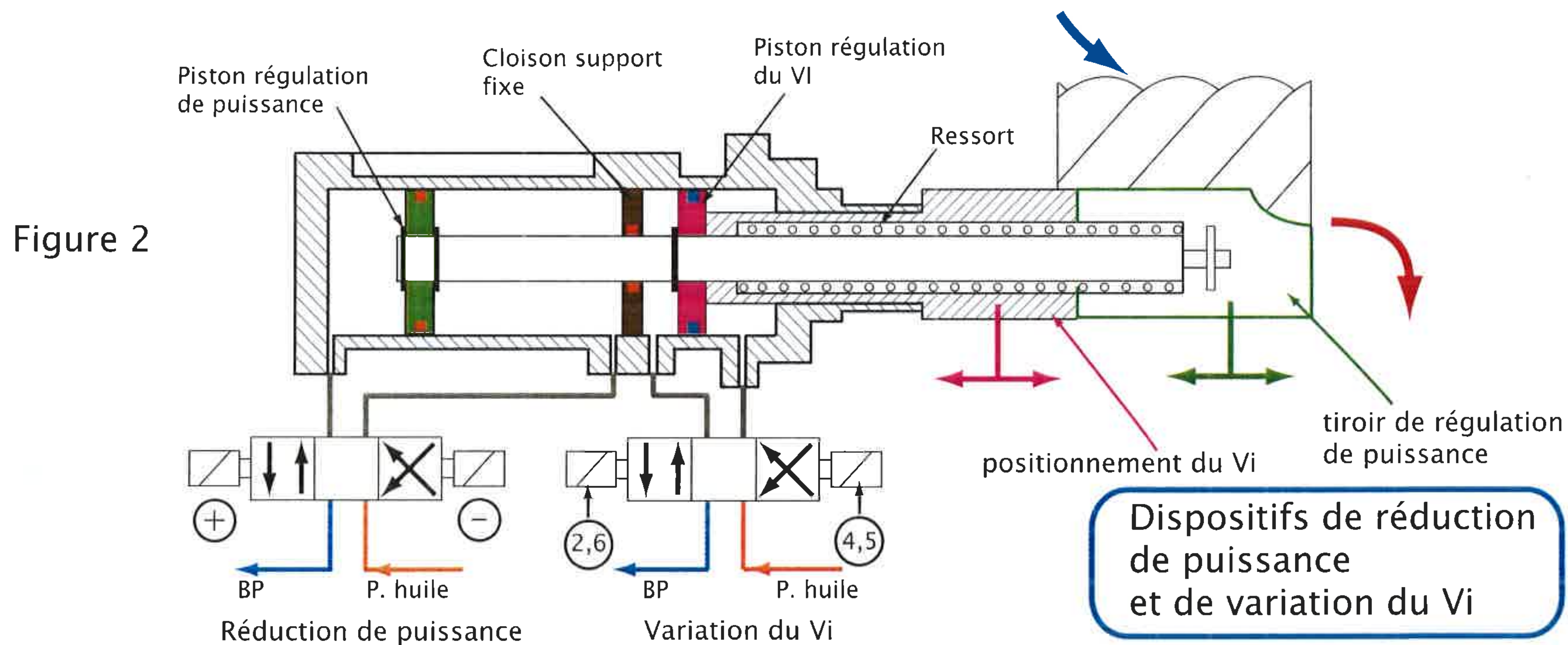
Les Vi proposés sont différents selon les constructeurs. Exemple de Vi proposés : 2,2 / 2,8 / 3,5 et 5.

Le Vi choisi est celui de l'installation en régime établi. Pendant la phase de démarrage et jusqu'à l'obtention des pressions souhaitées, le compresseur fonctionne avec des pressions internes qui génèrent des efforts axiaux et radiaux qui sollicitent les paliers et les roulements. Aussi un dispositif appelé " Vi variable " adapte le Vi aux conditions de fonctionnement. Celui-ci est détaillé aux pages suivantes.

Nota : la notion de Vi est aussi applicable aux compresseurs spiro-orbitaux ou scroll. Le respect du régime de fonctionement revêt la même importance que dans le cas d'un compresseur à vis afin de conserver de bons rendements.

> Le sens de rotation de ces compresseurs doit être, à la mise en route, contrôlé avec un phasemètre ou à l'aide du voyant intégré au carter du compresseur.





Dispositifs de réduction de puissance et de variation du Vi

jipé

tion

n

Le compresseur à vis.

La variation de puissance.

Les charges thermiques des installations ne sont pas constantes, aussi faut-il adapter le compresseur à toutes les situations.
Le compresseur est équipé d'un tiroir coulissant sous les vis qui, lors de son déplacement, met en communication les vis et l'aspiration du compresseur. Sur la figure 1, le tiroir est déplacé sur la droite diminuant la quantité de gaz qui sera comprimée.
Le transfert du gaz diminue le débit volume aspiré réduisant le débit masse (qm) et donc la puissance frigorifique ($\mathrm{Qo} = \mathrm{qm} \times \Delta\mathrm{h}$).
Le tiroir est solidaire d'un piston qui est actionné par l'huile sous pression disponible dans le circuit. Les mouvements du piston sont liés à l'état électrique du distributeur hydraulique ou à celui de 4 électrovannes qui tour à tour assurent la mise en pression et la décharge du piston.
Dans le cas N° 1, le distributeur est hors tension, le piston reste dans sa position. Dans le cas N° 2, le transfert de gaz décroît, la puissance frigorifique augmente. Dans le cas N° 3, le transfert de gaz croît, la puissance frigorifique diminue.
Des diaphragmes ou des régleurs sur le circuit d'huile régulent les mouvements du piston.

A la fin d'une intervention, vérifiez leur présence ou leur réglage.

La BP est mesurée par pressostat à zone neutre ou par capteur analogique, sa valeur est comparée au point de consigne et le dispositif agit sur les électrovannes. Le tiroir module la puissance de 10 à 100 %, s'adaptant ainsi à toutes les situations. Dans la séquence de mise en service, le démarrage est autorisé si et seulement si le compresseur est à 10 % de sa puissance, cette procédure limite alors l'intensité absorbée.

La variation du Vi.

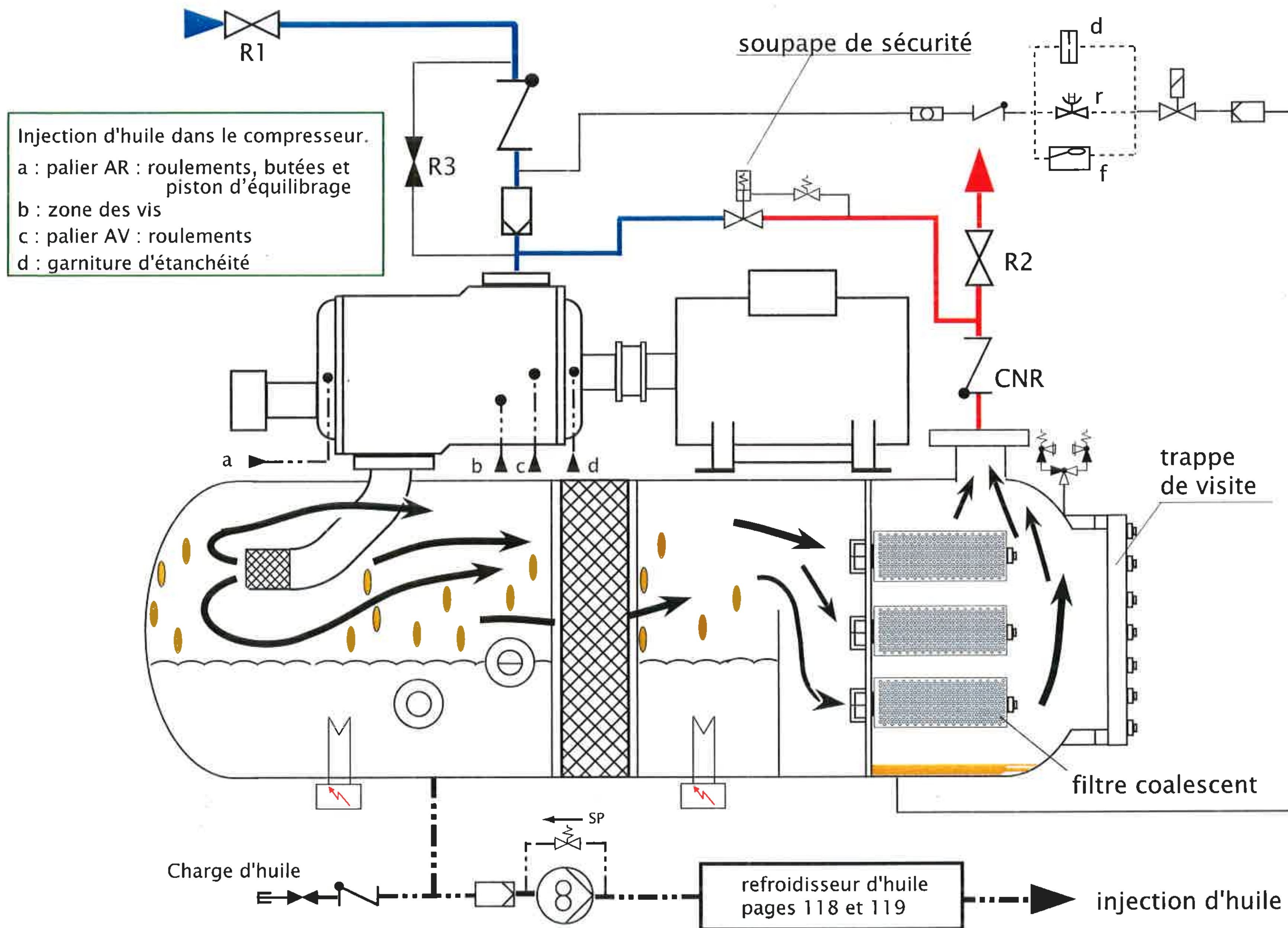
A la page précédente, nous avons vu la particularité de la compression qui est indépendante des conditions extérieures.
Le ΔP (HP / BP) du régime nominal n'est pas atteint dans 2 situations qui peuvent nécessiter l'usage d'une variation de Vi :

- au démarrage de l'installation. La BP est élevée et la HP faible, les conditions extérieures créent un faible taux de compression. Il faut avoir recours à un Vi faible. Un grand Vi génèrerait une pression Pr inutile et une puissance absorbée élevée.
- au cours de la production. Soit le compresseur fonctionne pour un tunnel de surgélation qui nécessite un grand Vi ($\theta o \cong -40°C$) soit il fonctionne sur une chambre de stockage à -20°C ($\theta o = -25°C$). Dans ce cas, un Vi plus petit est approprié.

En fonctionnement le Vi est déterminé d'après les valeurs de la BP et de la HP, d'après ces valeurs un programme calcule le Vi le plus intéressant pour le compresseur. La tâche est simplifiée avec l'usage des A.P.I. Le contrôle du Vi est prioritaire sur le contrôle de la puissance car un Vi inadapté se traduit par une consommation excessive d'énergie et des pressions préjudiciables à la mécanique. Après adaptation du Vi, la variation de puissance peut se faire.

Dans l'exemple de la figure 2, le Vi est de 2,6 ou de 4,5, mais un fractionnement sur 3 étages est possible. Le principe hydraulique est identique à celui de la réduction de puissance détaillée plus haut.

Compresseur à vis et séparateur d'huile horizontal.



Compresseur à vis. La séparation.

La quantité d'huile injectée peut atteindre 1% du volume balayé par le compresseur. Pour éviter la circulation de l'huile dans le circuit, le mélange fluide frigorigène/huile passe dans un séparateur. Deux types de séparateurs sont disponibles chez les constructeurs :

- les séparateurs horizontaux (page de gauche),
- les séparateurs verticaux (page suivante).

La séparation du mélange huile /FF est obtenue par différents procédés :

- réduction de la vitesse des gaz,
- changement de direction,
- obstacles sous forme de déflecteurs ou de treillis métalliques,
- centrifugation pour le séparateur de type vertical,
- augmentation de la viscosité de l'huile. Une partie de la chaleur est dissipée par la virole du séparateur, le mélange se refroidit favorisant ainsi la séparation.

L'huile est stockée dans la partie basse du séparateur, cette réserve alimentera, via le refroidisseur, le dispositif d'injection.

Malgré cette première séparation, le FF contient un peu d'huile qui sera retenue sur les filtres coalescents*. L'objectif est de limiter la consommation d'huile entre 5 et 10 ppm.

* Coalescence : formation de gouttelettes à partir d'un brouillard.

Cette huile ainsi récupérée est acheminée par différence de pression vers l'aspiration du compresseur.

Divers dispositifs sont utilisés :

- un diaphragme repère d,
- un régleur manuel repère r,
- un flotteur de type HP repère f.

Une trappe de visite permet de changer les filtres coalescents. Quelques centaines d'heures après la mise en service, les cartouches sont changées. La fréquence des autres changements est imposée par les constructeurs, elle se situe aux environs de 25000 ou 30000 heures.

Un clapet de non-retour équipe l'aspiration du compresseur, il évite un transfert des gaz de la HP vers la BP lors d'un arrêt en sécurité.

En l'absence du clapet, c'est le gaz HP qui entraîne les vis alors que le système d'injection d'huile est hors service.

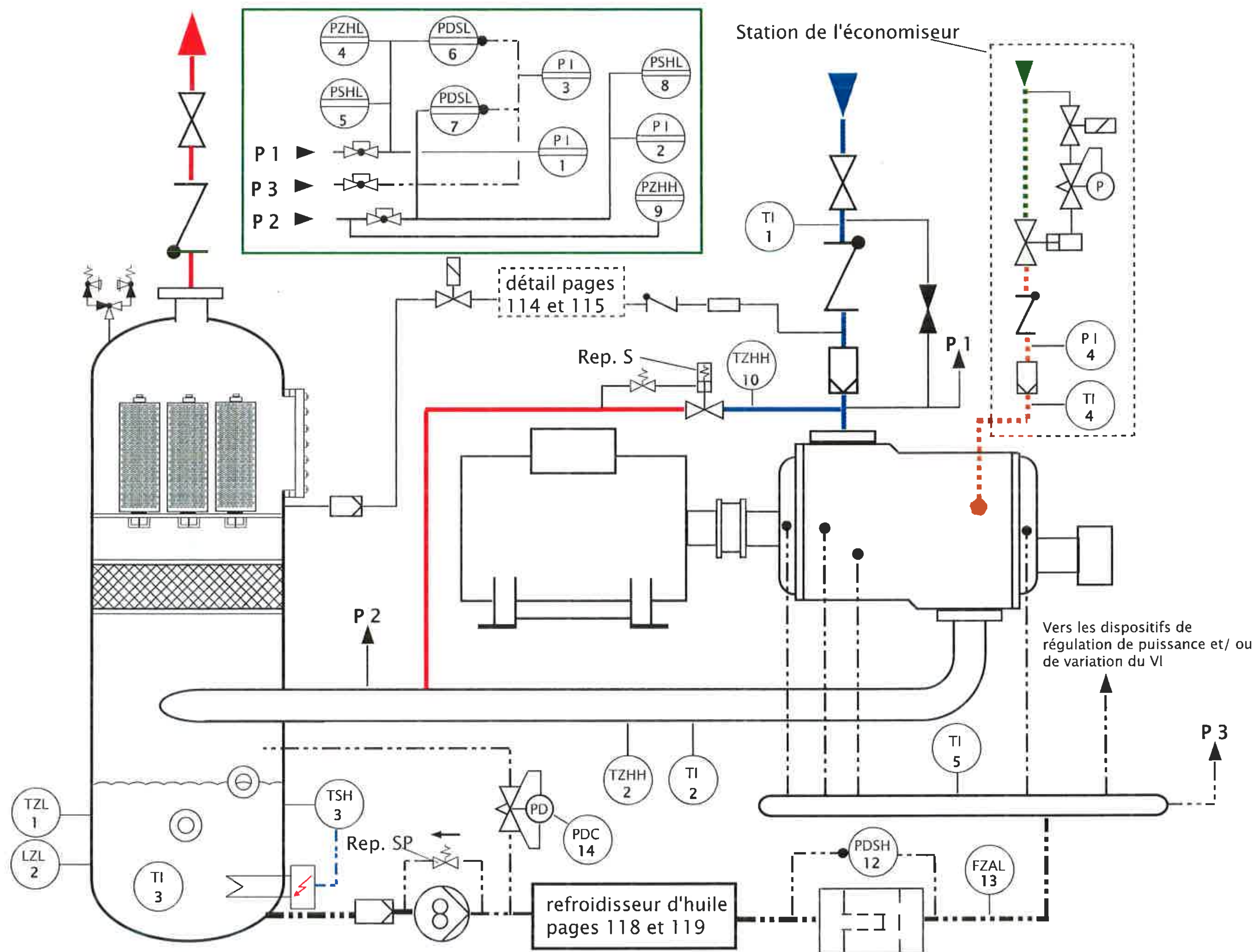
Le phénomène est bruyant et occasionne de fortes vibrations du moto-compresseur. Lors de l'arrêt, le clapet situé au refoulement évite une trop grande solubilité du fluide dans l'huile.

Une ou plusieurs résistances thermostatées maintiennent en température la réserve d'huile pendant l'arrêt (valeur moyenne 40°C).

Lors d'opérations de maintenance, les robinets d'isolement R1 et R2 sont fermés, cependant le tronçon en amont du CNR à l'aspiration du compresseur contient du FF.

Pour intervenir en toute sécurité, le transfert du FF est possible à l'aide du robinet R3 (R3 est fermé pendant le fonctionnement).

Compresseur à vis et séparateur d'huile vertical.

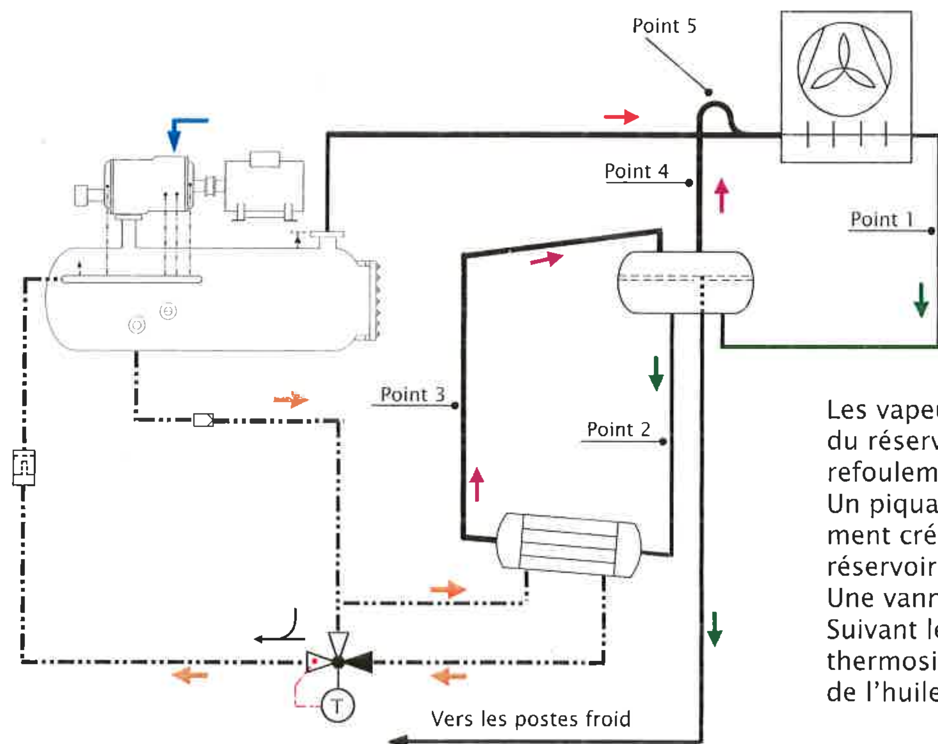


Dispositifs de sécurité et de régulation.

Suivant le type d'installation, le constructeur préconise tout ou partie des dispositifs présents sur le tableau du compresseur à vis.

	Repères	Variables	Fonctions
Indicateurs	PI 1	Pression	Pression d'aspiration.
	PI 2	Pression	Pression de refoulement.
	PI 3	Pression	Pression d'huile.
	PI 4	Pression	Pression de l'économiseur
	TI 1	Température	Température de la tuyauterie d'aspiration.
	TI 2	Température	Température de latuyauterie de refoulement.
	TI 3	Température	Température de l'huile dans le séparateur.
	TI 4	Température	Température de la tuyauterie de l'économiseur.
	TI 5	Température	Température du collecteur d'huile.
Régulations	PSHL 8	Pression HP	Régulation de la pression de condensation.
	PSHL 5	Pression BP	Régulation de la pression BP. Zone neutre.
	TSH 3	Température	Régulation de la température d'huile.
	PDC 14	Pression différentielle	Régulation de la pression d'huile.
Sécurités	PZHL 4	Pression BP	Sécurité BP. Coupure si BP trop basse.
	PDSL 6	Pression différentielle : pression de l'huile/BP	Coupure si ΔP trop faible.
	PDSL 7	Pression différentielle : pression de l'huile/HP	Coupure si ΔP trop faible. Cas de l'auto-injection d'huile.
	PZHH 9	Pression HP	Coupure si HP trop élevée.
	TZL 1	Température	Pas de démarrage si température d'huile trop basse.
	LZL 1	Niveau d'huile	Coupure si niveau trop bas.
	TZHH 2	Température	Coupure si température de refoulement trop élevée.
	PDSH 12	Pression différentielle amont/aval du filtre.	Alarme pour signaler le colmatage.
	FZHL 13 (Débit-test ou flow-switch)	Débit	Coupure si débit trop faible.
	TZHH 10	Température	En cas d'ouverture de la soupape de sécurité, détection de l'augmentation de la température.

Refroidissement de l'huile des compresseurs à vis.

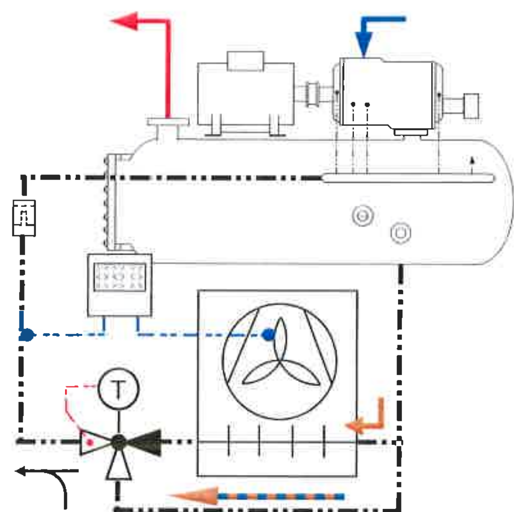


Refroidissement en régime noyé (flood). Procédé H.

Un réservoir situé sous le condenseur reçoit le liquide sous-refroidi (Point 1 : 35°C). Ce réservoir alimente, par gravité et en priorité, un échangeur (Point 2). L'objectif est d'obtenir une circulation du F.F. par thermosiphon, les pertes de charge sont limitées par l'emploi d'échangeurs à plaques ou d'échangeurs multitubulaires à 1 passe.
La chaleur de l'huile vaporise en partie le FF.

Pour un taux de recirculation de 3 au point 3 ,nous avons 2/3 de liquide et 1/3 de vapeur à 35°C.

Les vapeurs produites dans l'échangeur rejoignent la partie supérieure du réservoir, puis sont acheminées à l'aide d'une tuyauterie vers le refoulement du compresseur (Point 4).
Un piquage "accompagné" ainsi que la vitesse des gaz dans le refoulement créent une faible dépression qui favorise le dégazage du réservoir (Point 5).
Une vanne 3 voies thermostatée contrôle la température de l'huile. Suivant le FF utilisé, son installation n'est pas impérative, en effet le thermosiphon s'autorégule évitant ainsi un trop fort refroidissement de l'huile.

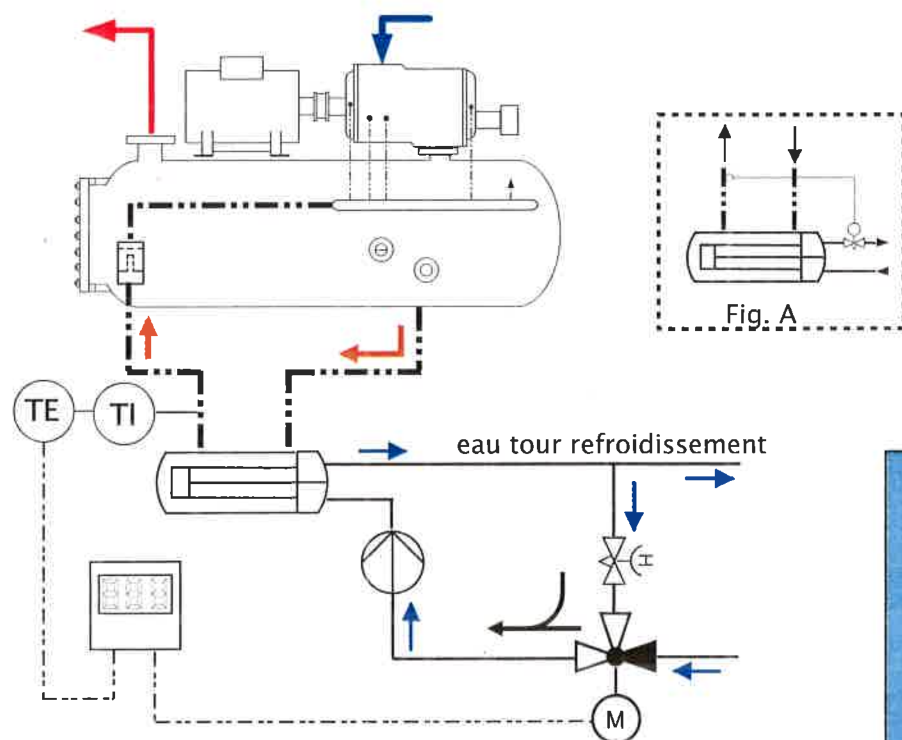


Refroidissement par aéro-réfrigérant. Procédé E.

Avant d'être injectée dans le compresseur, l'huile passe dans un aéro-réfrigérant, elle cède à l'ambiance l'énergie contenue sous forme de chaleur.
Equipée d'une vanne 3 voies, la régulation de l'installation se déroule au démarrage dans l'ordre suivant :

- ⇨ mise en service, l'huile emprunte le circuit bicolore,
- ⇨ la température augmente, la vanne 3 voies module, le débit de la voie 2/B diminue et le débit de la voie 3/C augmente (voir page de droite). Pour donner la priorité à l'échangeur, l'huile emprunte le circuit orange.
- ⇨ si la température continue de progresser, le ventilateur est mis en service (dispositif T.O.R. ou variation de vitesse).

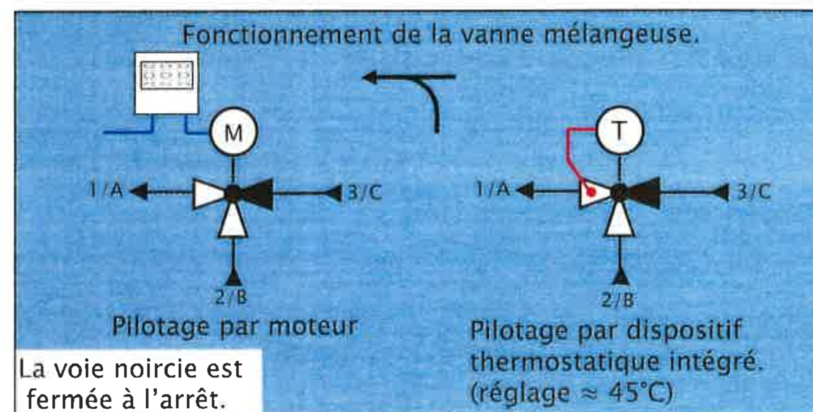
Refroidissement de l'huile des compresseurs à vis.

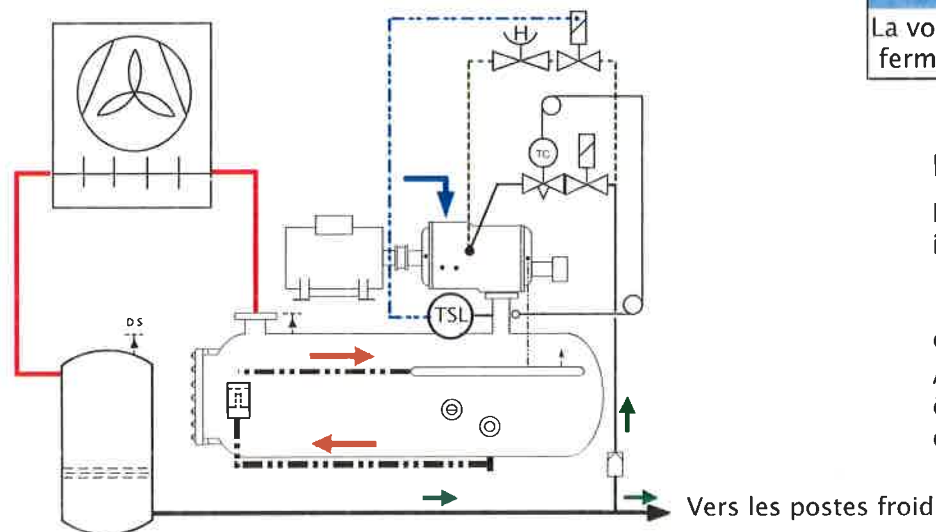


Refroidissement avec échangeur à eau. Procédé F.

Un échangeur multitubulaire ou à plaques évacue, par l'intermédiaire d'un liquide, l'énergie contenue dans l'huile.
Trois techniques, traitées page XX, sont utilisées pour le refroidissement du liquide caloporteur (eau ou EG).
Pour maintenir une température d'huile compatible avec les souhaits du constructeur, une vanne 3 voies "mélangeuse" est placée sur le circuit d'eau.

Dans le cas d'autres configurations, l'usage d'une vanne à eau thermostatique convient (fig A).





Refroidissement par injection de F.F. Procédé G.

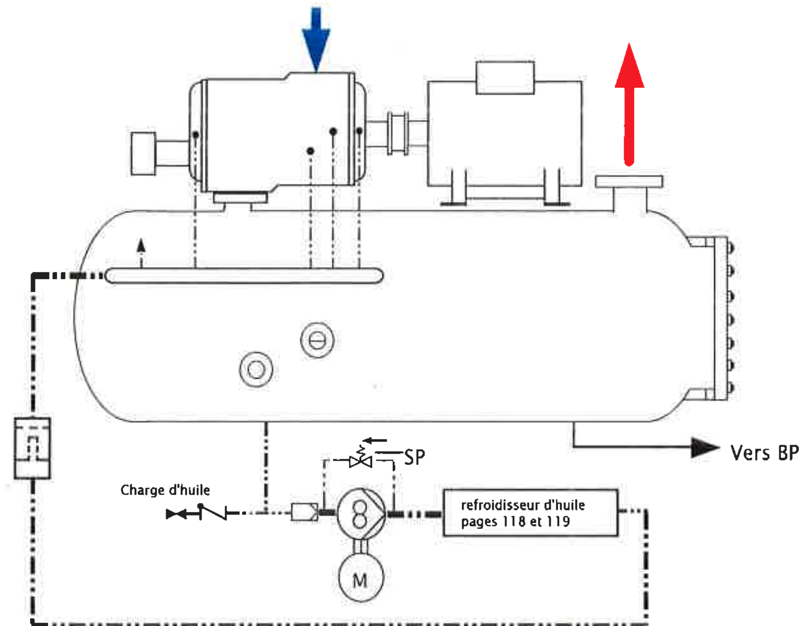
Du fluide frigorigène, prélevé sur la ligne liquide, est injecté avec l'huile afin de la refroidir :

⇨ par l'intermédiaire d'un détendeur thermostatique,

⇨ avec un ensemble constitué de : robinet régleur, électrovanne et thermostat ou sonde de température (TSL).

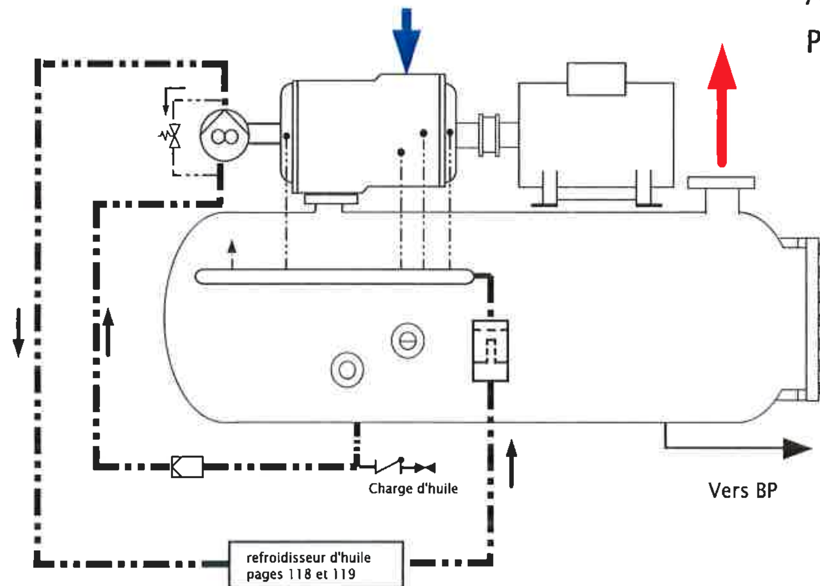
Avec ces 2 procédés, une attention toute particulière doit être apportée au réglage de la surchauffe des dispositifs de détente.

L'injection d'huile dans un compresseur à vis.



A l'aide d'une pompe entrainée par un moteur électrique. Procédé A

Les pompes utilisées sont des pompes volumétriques, elles sont à engrenage ou à vis, elles permettent d'obtenir des pressions de l'ordre de 15 bar.
Comme toutes les compressions volumétriques, un limiteur de pression évite des détériorations si la pompe n'est pas en mesure d'assurer son débit (filtre colmaté, vanne de refoulement fermée).
Le limiteur de pression est un clapet de décharge qui évacue la surpression vers l'aspiration de la pompe (Rep SP).
La filtration de l'huile se fait en 2 endroits : à l'aspiration de la pompe et au refoulement.
La séquence de démarrage du compresseur prévoit la mise en route de la pompe pour s'assurer que la pression différentielle est bien atteinte, que le niveau d'huile est correct et que les tiroirs de régulation sont positionnés sur la capacité minimum.
La pression d'huile est parfois contrôlée par un régulateur différentiel présenté page 94.



A l'aide d'une pompe entrainée par une des vis du compresseur. Procédé B.

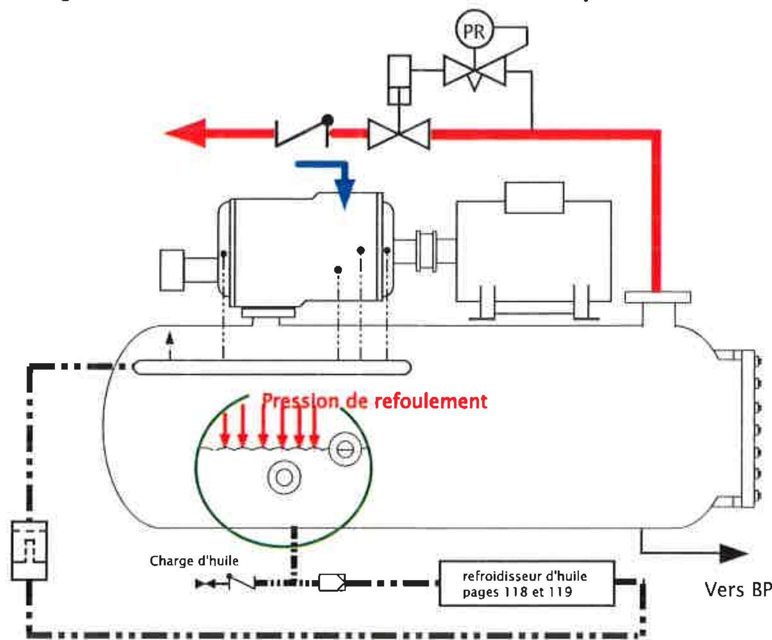
La disposition s'apparente à celle des compresseurs à pistons. La séquence de démarrage s'en trouve simplifiée. Après la mise en service du compresseur, la pression est contrôlée par un pressostat différentiel.

Information commune à tous les compresseurs à vis.
La répartition de l'huile dans le compresseur est obtenue par la mise en place de diaphragmes.
Ils sont placés dans le raccordement des tuyauteries d'huile.
Lors des interventions, assurez-vous de leur présence.

Certaines de ces tuyauteries sont équipées de robinets régleurs, n'oubliez pas de compter le nombre de tours pour ainsi retrouver les débits d'origine.

L'inje

L'injection d'huile dans un compresseur à vis.

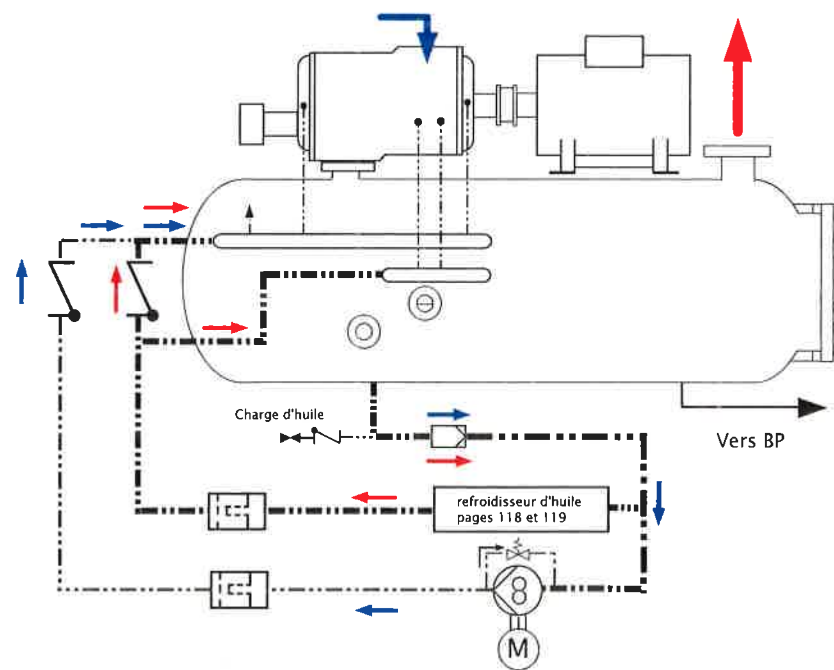


Auto-injection. Procédé C.

Dans ce système c'est la pression qui règne dans le séparateur qui est utilisée pour transporter l'huile. Au démarrage de l'installation, la pression de condensation est relativement faible, la pression dans le séparateur est insuffisante pour une bonne lubrification.
Pour assurer un débit correct, une vanne pilotée avec un régulateur amont est placée sur la tuyauterie de refoulement.

A l'arrêt, la vanne pilotée est fermée.
A la mise en service du compresseur, la pression de refoulement augmente donc rapidement, l'huile est injectée dans de bonnes conditions.
Le régulateur maintient une pression de refoulement indépendante de la pression de condensation. Après la phase de démarrage, le régulateur est ouvert en totalité.

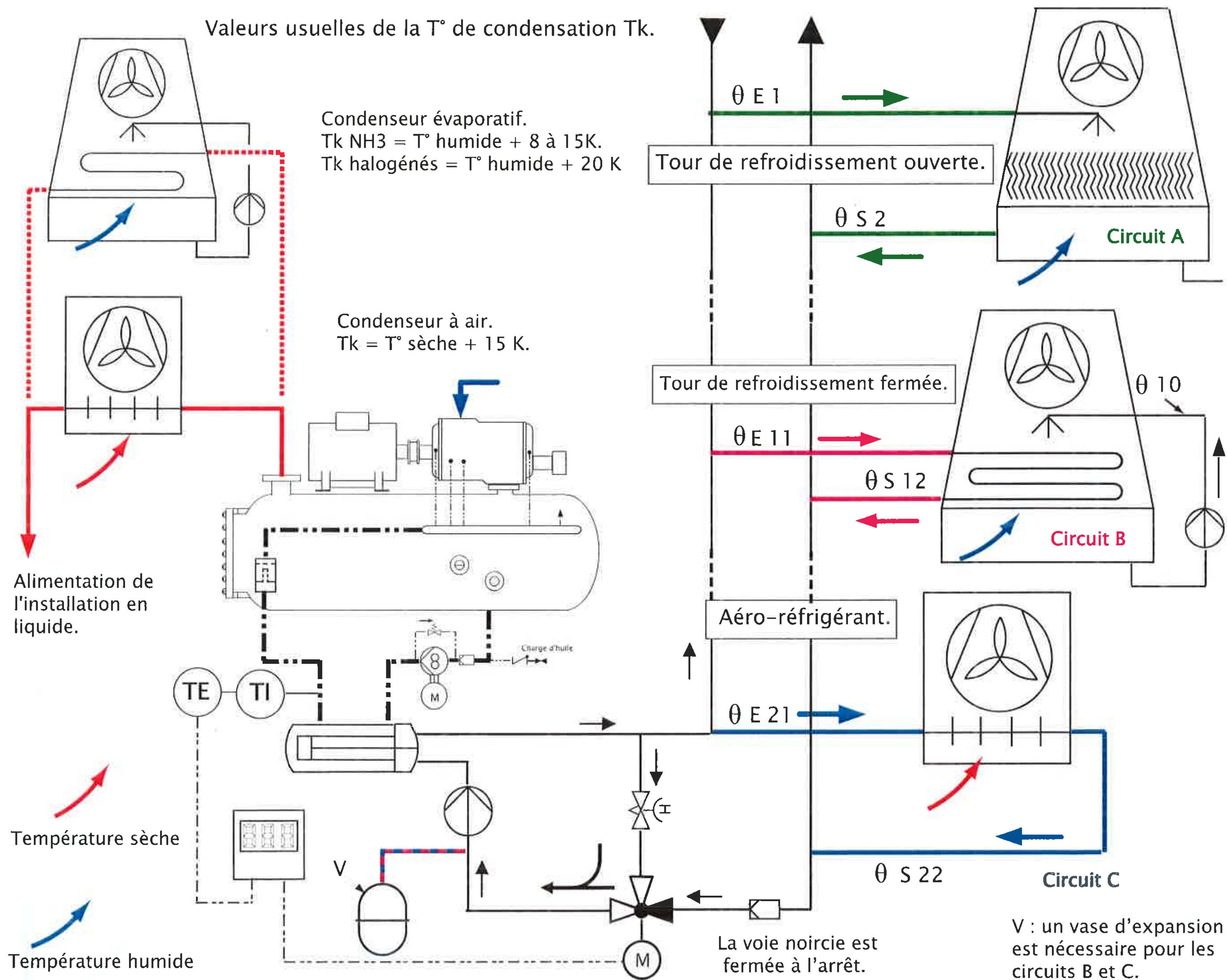
La pression minimum dans le séparateur est imposée par le constructeur. Le constructeur donne une formule de calcul ou une valeur de réglage en fonction de la conception du circuit d'huile.
Exemple : pression de refoulement > 2 fois la BP + 2 bar.



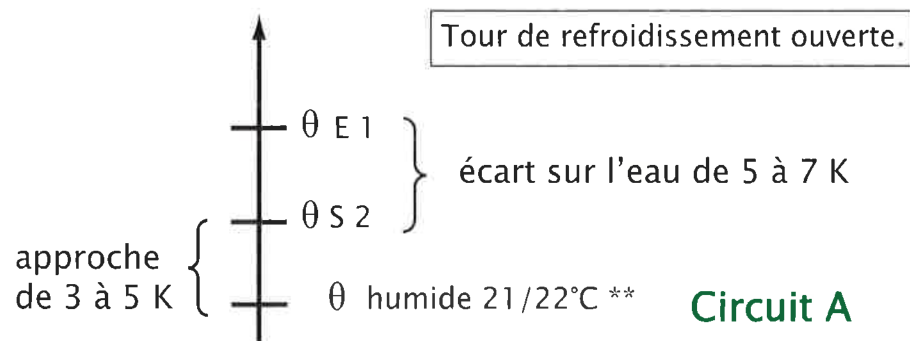
Injection mixte. Procédé D.

Le système emprunte les 2 technologies : l'injection par pompe et l'auto-injection.
Dans un premier temps, on retrouve les procédures de démarrage du procédé A (flèches bleues), lorsque le ΔP entre la BP et la HP est atteint, la pompe s'arrête, l'injection est alors identique au procédé C (flèches rouges).

C'est un pressostat différentiel qui arrête la pompe lorsque le ΔP est suffisant pour assurer l'injection d'huile
(PDSL 7 pages 116 et 117).
Un contrôle de la pression de refoulement par régulateur amont n'est pas nécessaire.


Valeurs usuelles de la T° de condensation Tk.
Condenseur évaporatif.
Tk NH3 = T° humide + 8 à 15K.
Tk halogénés = T° humide + 20 K
Condenseur à air.
Tk = T° sèche + 15 K.
θ E 1
Tour de refroidissement ouverte.
θ S 2
Circuit A
Tour de refroidissement fermée.
θ 10
θ E 11
θ S 12
Circuit B
Aéro-réfrigérant.
θ E 21
θ S 22
Circuit C
Alimentation de l'installation en liquide.
TE
TI
M
V
Température sèche
Température humide
La voie noircie est fermée à l'arrêt.
V : un vase d'expansion est nécessaire pour les circuits B et C.

Les températures de l'eau suivant les dispositifs.

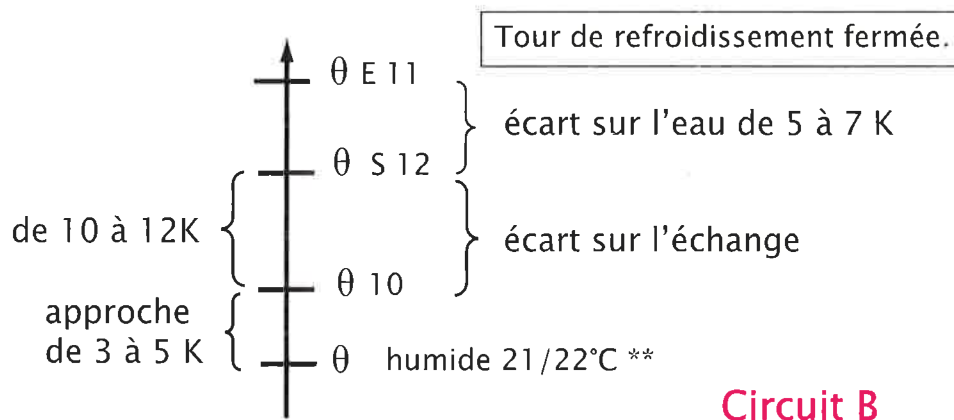


La température d'eau dans le bassin θ S 2 dépend de 2 éléments :

⇨ de la température humide,
⇨ de l'approche choisie.

L'approche est liée à la surface d'échange de la tour, sa réduction passe par l'augmentation de la surface d'échange.

** suivant localisation.



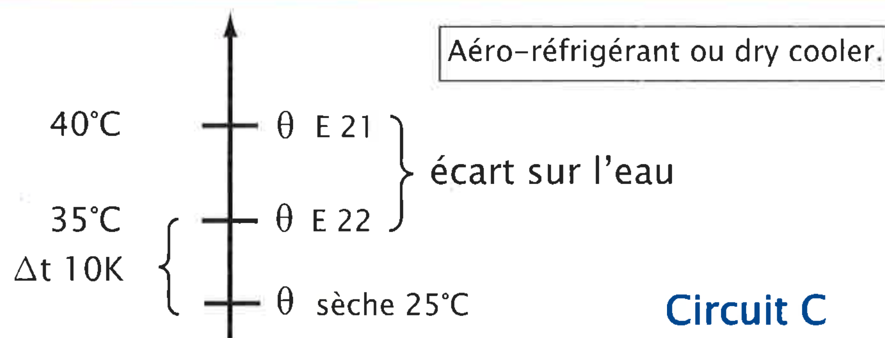
L'échange thermique à travers les tubes augmente les niveaux de température du liquide refroidi mais les valeurs restent liées à la température humide.

Tour hybride.

Ce type de tour possède 2 fonctionnements :

⇨ en régime humide, la pompe est mise en service (15 à 20 % du temps)*,
⇨ en régime sec, sans pompe, dès lors que la température sèche le permet.

* valeurs moyennes suivant la localisation.

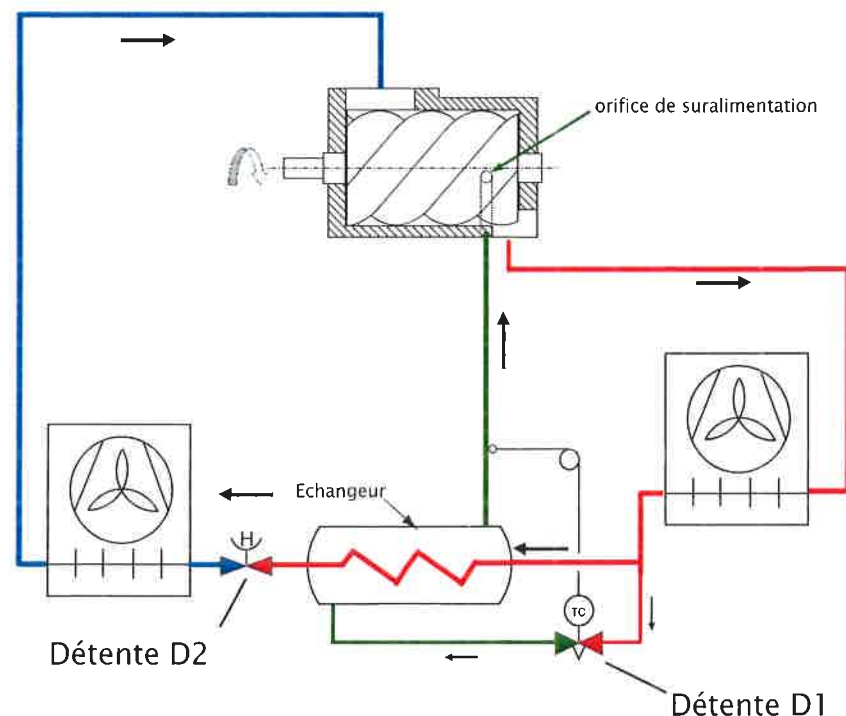


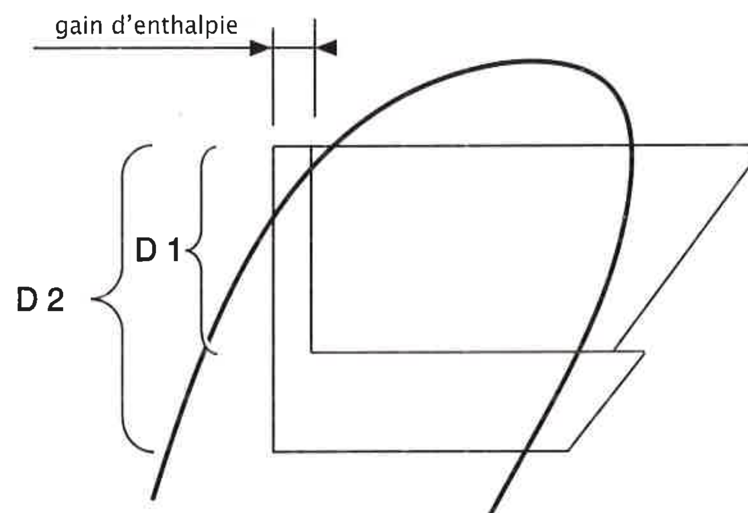
Les températures entrée/sortie du dry cooler se positionnent d'après la température sèche.
Les valeurs sur le graphe (40, 35 et 25°C) sont les températures standard de calcul de puissance des aéro-réfrigérants (norme ENV 1048 pour de l'eau).
Pour une température sèche supérieure à 25°C, la valeur de 35°C est obtenue par l'augmentation de la surface d'échange et/ou du débit d'air.
Ce dernier paramètre est envisageable s'il n'y a pas de risque de nuisance sonore.

Vous trouverez dans le chapitre "la psychrométrie" toutes les informations concernant la température sèche ou humide.

Les économiseurs, la suralimentation ou "superfeed".

Du gaz produit dans un échangeur ou une bouteille intermédiaire, dite ECO, est injecté dans la zone de compression. Pour les 2 techniques, partielle ou totale, le gain d'enthalpie améliore le C.O.P. de l'installation. Suivant la température d'évaporation et le fluide frigorigène, l'amélioration du C.O.P. est d'environ 10 % à - 10°C et 35 % à - 40 °C.





Injection partielle,

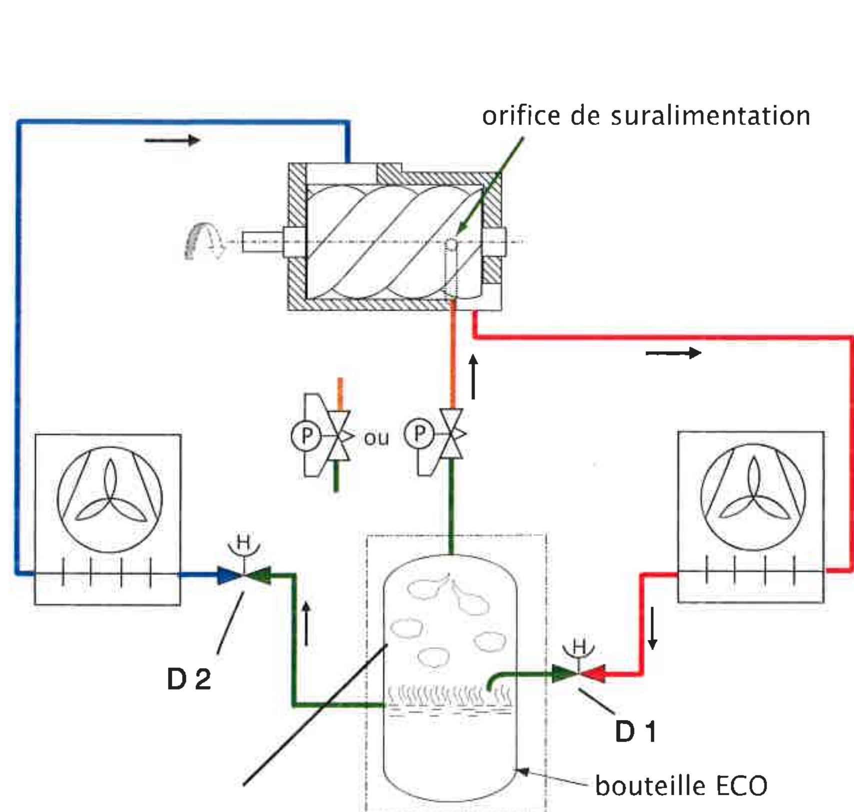
appelée parfois économiseur à surface.

Ce cycle correspond au cycle 7 des pages 22 et 23. L'aspiration de l'échangeur ne nécessite pas de régulateur particulier. Des électrovannes seront placées avant le détendeur D1 ainsi que sur le collecteur d'aspiration de l'échangeur vers l'orifice de suralimentation.

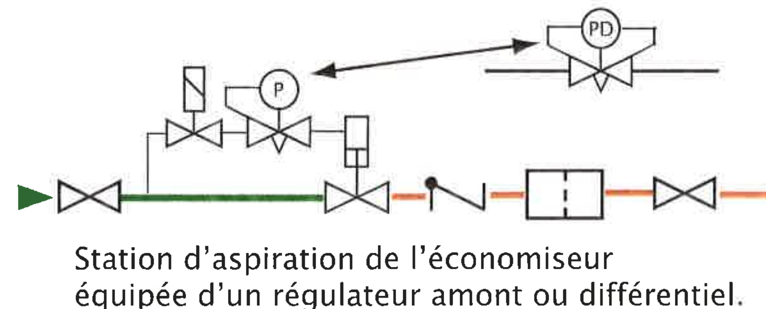
Nota : schéma de principe, seuls les composants indispensables à la compréhension du sujet traité sont représentés.

Les économiseurs, la suralimentation ou "superfeed".

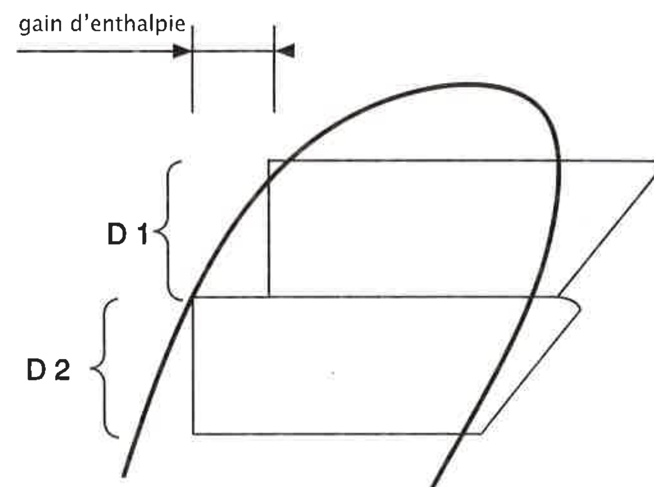
Du gaz produit dans un échangeur ou une bouteille intermédiaire, dite ECO, est injecté dans la zone de compression. Pour les 2 techniques, partielle ou totale, le gain d'enthalpie améliore le C.O.P. de l'installation. Suivant la température d'évaporation et le fluide frigorigène, l'amélioration du C.O.P. est d'environ 10 % à - 10°C et 35 % à - 40 °C.



La bouteille éco serait équipée d'un contrôleur de niveau haut.



Station d'aspiration de l'économiseur équipée d'un régulateur amont ou différentiel.



Injection totale,

appelée parfois économiseur flash.

Ce cycle correspond au cycle 8 des pages 24 et 25. L'aspiration de la bouteille éco est équipée d'un régulateur pour maintenir la pression MP supérieure à la BP (page 24). L'électrovanne retarde la mise en service de l'économiseur pour limiter l'intensité absorbée au démarrage (voir sommaire page 75).

Nota : schéma de principe, seuls les composants indispensables à la compréhension du sujet traité sont représentés.

Notes personnelles

Les pompes.

La courbe caractéristique du réseau.

La courbe caractéristique du réseau est la représentation des pertes de charge en relation avec le débit.
Les réseaux hydrauliques, parcourus par des liquides, sont constitués de tubes, de vannes, d'échangeurs et de régulateurs qui exercent des résistances à l'écoulement que la pompe doit vaincre.
Ces résistances sont de 2 types :

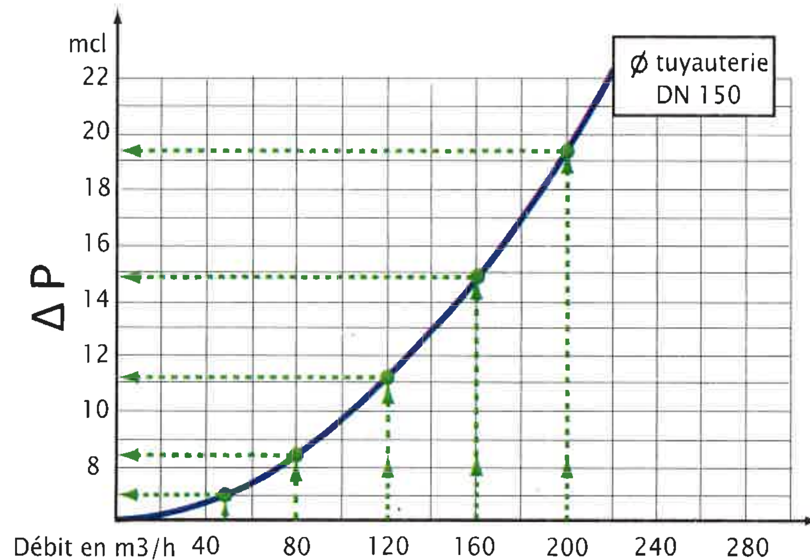
≈ la résistance due au dénivelé, c'est une résistance statique,

≈ la résistance due au frottement du liquide sur les parois intérieures et au sein même du liquide : c'est une résistance dynamique.

Les résistances hydrauliques donnent naissance à des pertes de charge :

≈ linéaires : dans les longueurs droites des tubes,

≈ singulières : dans les coudes, divergents,convergents, vannes, régulateurs, échangeurs, etc.



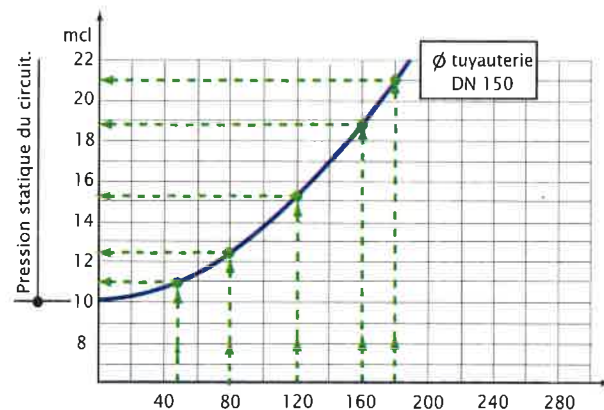
Détermination des pertes de charge en fonction du débit.

Une fois le réseau défini, longueurs droites et composants, le delta P (ΔP) peut être calculé pour différents débits.
A chaque débit, correspond un ΔP qui positionne un point (vert).
Le calcul se poursuit avec différents débits et l'on obtient une parabole qui est dénommée "courbe de réseau".
La perte de charge correspondant au débit souhaité permet la sélection de la pompe.

Selon la configuration du réseau, la courbe de réseau ne passe pas nécessairement par l'origine du repère orthonormé.
Deux situations sont représentatives :

≈ les circuits ouverts en charge sous un bassin, c'est le cas des tours de refroidissement,

≈ les circuits fermés qui utilisent des vases d'expansion pressurisés.



Détermination des pertes de charge en fonction du débit.

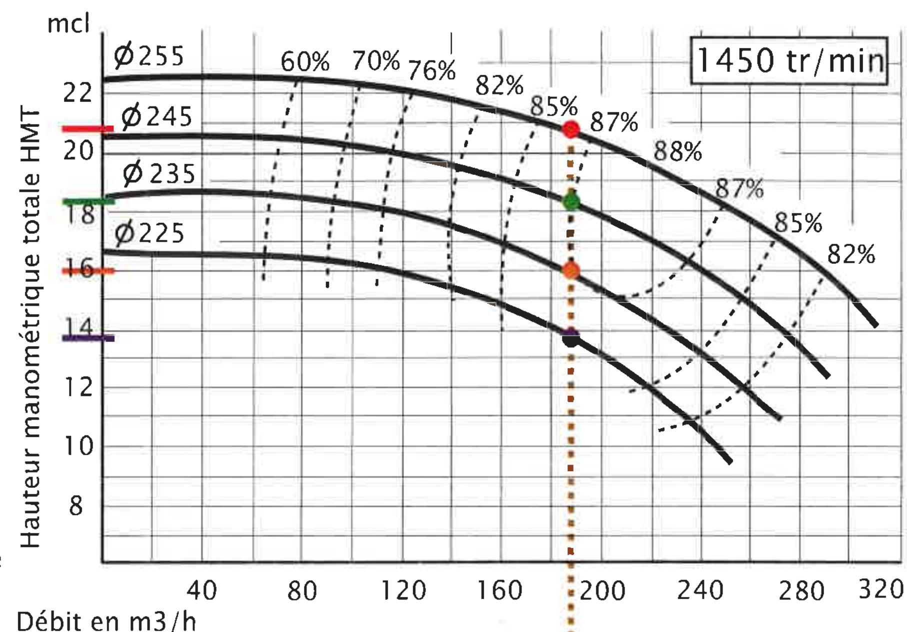
Caractéristiques des pompes centrifuges.

Courbe de la pompe.

La courbe caractéristique d'une pompe, c'est la loi de variation de la hauteur totale en fonction du débit.
Les dimensions, les formes et les matériaux des roues ou des volutes contribuent à donner une courbe particulière à chaque pompe. Les tracés de courbes sont issus des résultats obtenus sur les bancs d'essais :

≈ Les débits sont généralement exprimés en m^3/h.
≈ La hauteur manométrique totale (HMT), c'est l'énergie que transmet la pompe au liquide transporté.

Les hauteurs sont exprimées en mètre (m), en mètre de colonne d'eau (mCE) ou en mètre de colonne de liquide (mcl).
Si le liquide transporté n'est pas de l'eau pure, une correction s'impose.
Les courbes en pointillé correspondent au rendement hydraulique et non pas au rendement de la motopompe.

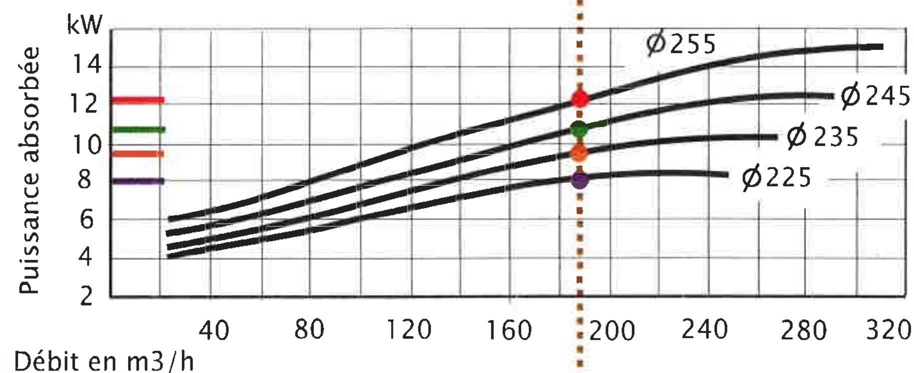


Courbe de la puissance absorbée.

Les puissances sont données pour un débit et un diamètre de roue.
Les conditions d'obtention de ces courbes sont habituellement précisées par le constructeur :

≈ la masse volumique est de 1000 kg/m^3,
≈ la viscosité cinématique est de 1 cst.

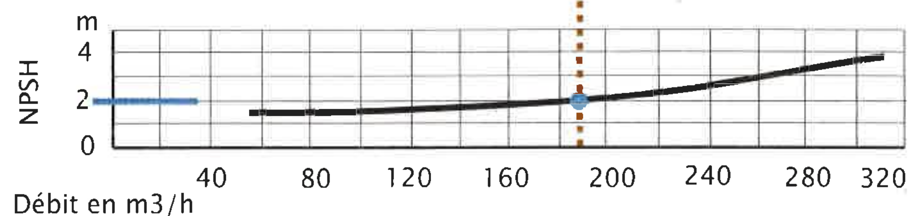
Ces valeurs sont les caractéristiques de l'eau pure.



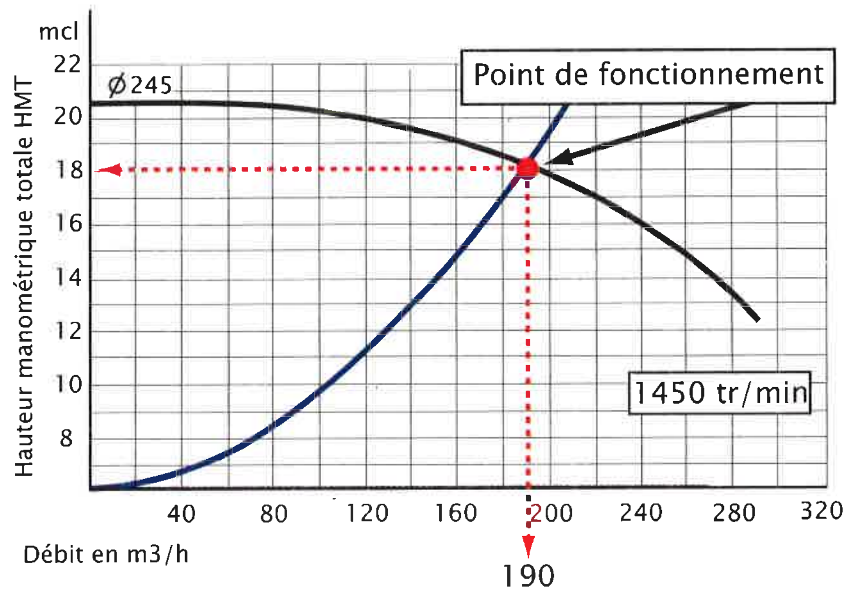
Valeur du NPSH.

Cette valeur correspond à la perte de charge dans la pompe, aussi cette valeur augmente avec le débit.
C'est donc la réserve initiale de pression nette, indispensable à l'entrée de la pompe pour éviter toute cavitation.

Cette valeur est le NPSH requis.

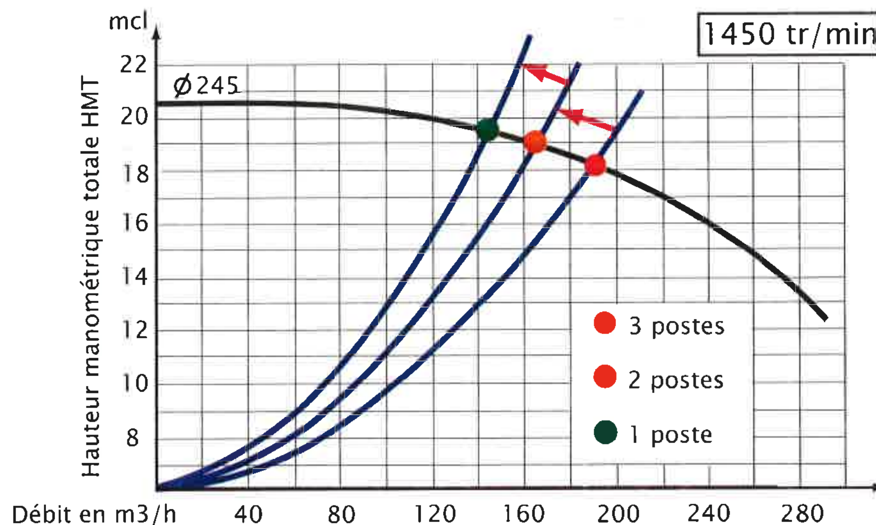


Association d'une courbe de réseau et d'une courbe de pompe.



Association de la pompe et du réseau.

La superposition des 2 courbes détermine le point de fonctionnement.
Le point de fonctionnement se situe toujours sur la courbe de la pompe.
Ce point est déterminé par vos relevés.
Il n'est pas nécessaire de connaître la totalité de la courbe de réseau pour expliquer les phénomènes observés sur l'installation.



Incidences du nombre de postes en service sur la courbe de réseau.

La courbe de réseau n'est pas une parabole figée.
Elle fluctue en même temps que la résistance hydraulique du réseau.
La réduction des postes de froid par exemple augmente la résistance hydraulique, ceci se traduit par une courbe qui se redresse.
(voir graphique de gauche).

Adaptation des pompes aux évolutions du réseau.

Les pompes sont choisies pour assurer un débit en corrélation avec une hauteur manometrique.

La fluctuation des résistances hydrauliques rend indispensable l'adaptation de la pompe aux évolutions du circuit. Un des moyens utilisé est la variation de vitesse des moteurs qui est obtenue par la variation de la fréquence.

Le régulateur de vitesse reçoit des informations d'un signal, tension ou courant, pour adapter la pompe aux conditions du moment.

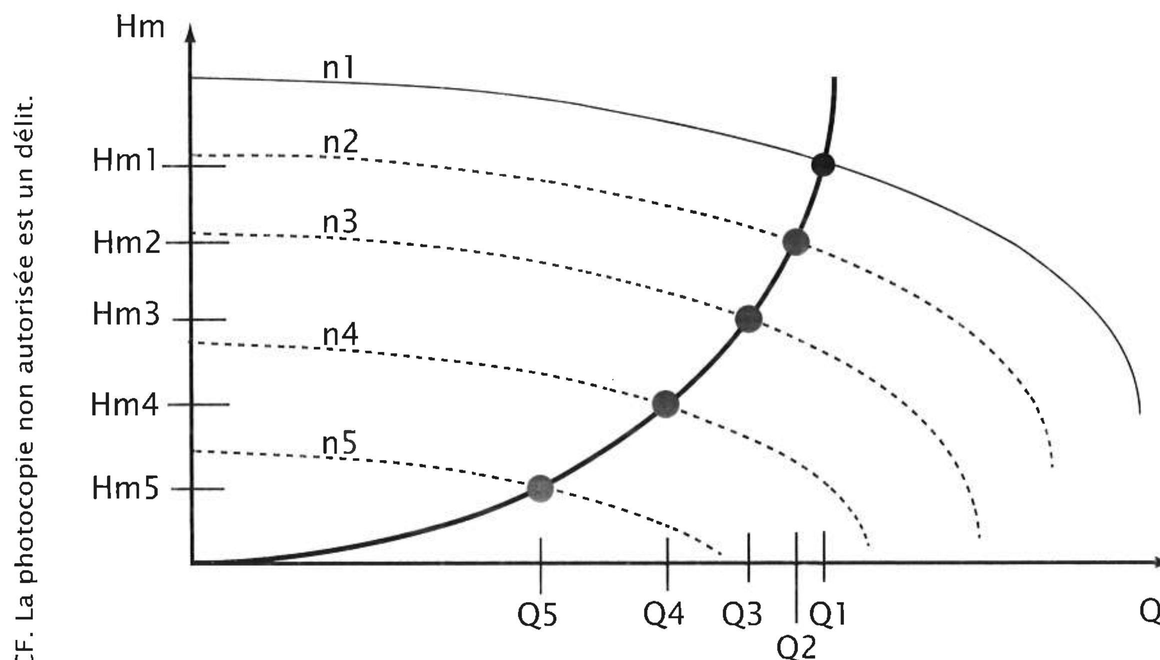
La vitesse est ajustée par la variable la plus significative soit :

- ≈ la pression de refoulement de la pompe,
- ≈ le Δ T° d'un échangeur,
- ≈ le débit, etc.

A chaque vitesse correspondent un nouveau débit et une nouvelle hauteur manométrique. (voir courbe)

Des calculs simples permettent d'appréhender les variations des caractéristiques de la pompe dans sa nouvelle configuration.

Variations des caractéristiques en fonction de la vitesse.



Variation du débit.

$$\frac{Q1}{Q2} = \frac{n1}{n2}$$

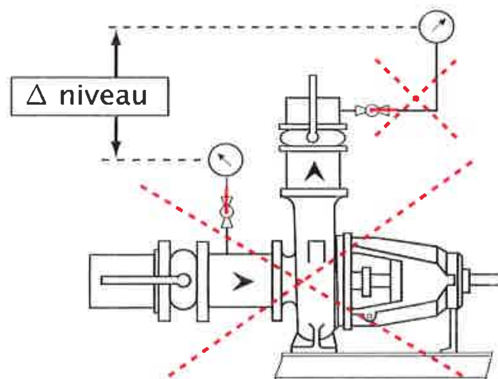
Variation de la Hm

$$\frac{Hm1}{Hm2} = \left(\frac{n1}{n2}\right)^2$$

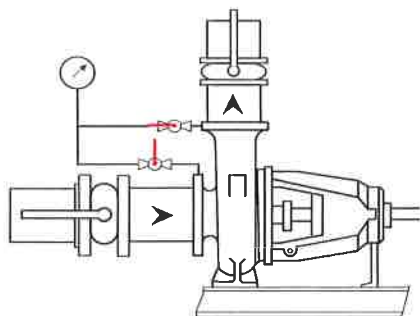
Variation de la puissance hydraulique

$$\frac{P_{(hyd.)}1}{P_{(hyd.)}2} = \left(\frac{n1}{n2}\right)^3$$

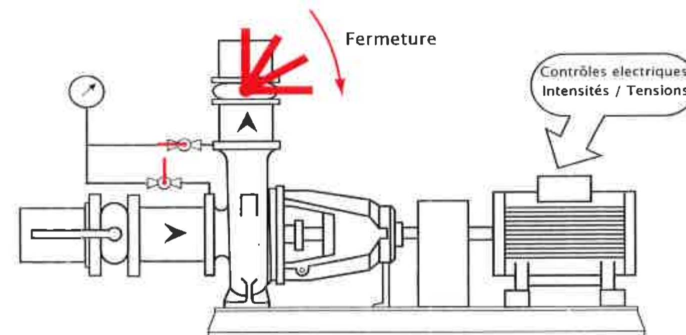
Essais des pompes.



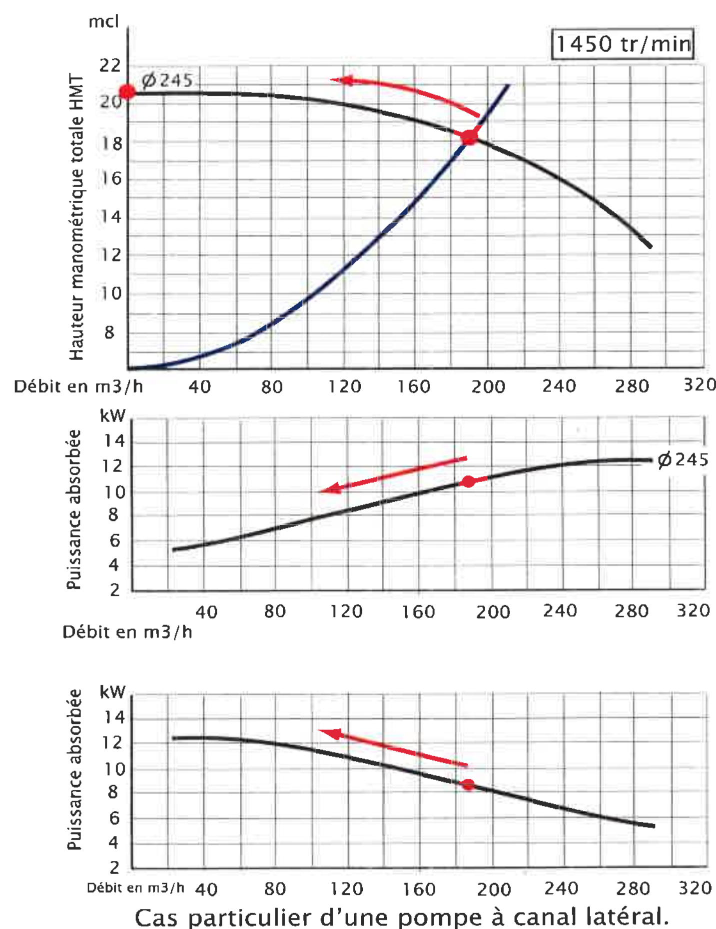
Instrumentation à éviter.



Utilisation des prises de pression
prévues par le constructeur.



Détermination de la HMT à débit nul. HMT0



Cas particulier d'une pompe à canal latéral.

Essa
Pour
Ce q
Ce p
Les p

Véri
Les f
déter
En l'
≈ n
≈ n
Cette
Pour

Le poi
Cette

Penda
pomp
La fer
de rer
La me

ГО

Essais des pompes.

Pour obtenir des résultats fiables, il est souhaitable de n'utiliser qu'un seul manomètre pendant les essais de la pompe.

Ce qui importe dans ces relevés, c'est le ΔP entrée/sortie de la pompe et non la valeur de chaque pression.

Ce principe de mesure évite une différence de niveau des manomètres qui fausserait la mesure.

Les prises de pressions du constructeur conviennent pour les mesures.

Vérification du sens de rotation.

Les flèches en surépaisseur sur les volutes ou les indications sur les moteurs sont les moyens les plus sûrs pour déterminer le sens de rotation.

En l'absence de ces marquages, 2 méthodes vous conforteront dans le choix du sens de rotation :

≈ mesurer le ΔP dans un sens, puis dans l'autre. Le ΔP le plus important correspond au bon sens de rotation,

≈ mesurer la HMT à débit nul ou HMT0.

Cette méthode est simple mais suppose que vous soyez en possession de la courbe de pompe.

Pour obtenir un débit nul, il suffit de fermer la vanne de refoulement pendant le fonctionnement de la pompe.

Relevés sur une installation utilisant du MEG à 35%.

Le ρ à -10°C = 1062,3 kg/m^3.

Δ P mesuré = 2,14 bar soit 214 000 pascal

HMT à débit nul ou HMT0 .

$$\Delta P = \rho \times g \times HMT0$$

$$HMT0 = \frac{\Delta P}{\rho \times g} = \frac{214\,000}{1062{,}3 \times 9{,}81} = 20{,}53 \text{ m}$$

Le point de fonctionnement se situe alors à la naissance de la courbe de la pompe.

Cette opération est sans danger pour la pompe si elle ne dure que le temps des relevés.

N.B. : Cette dernière opération ne peut être envisagée qu'avec une pompe centrifuge.

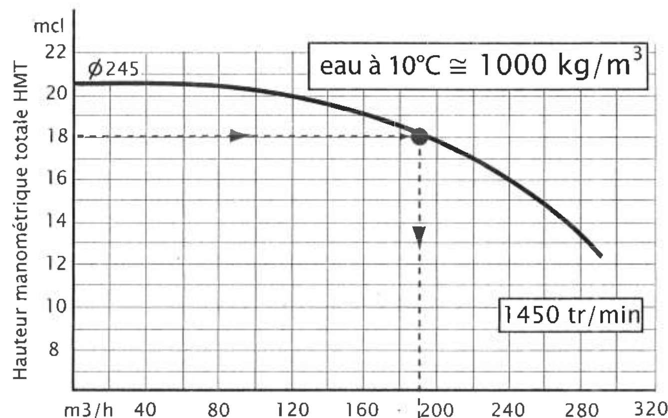
Pendant la fermeture de la vanne, l'intensité décroît, excepté si la pompe est une pompe à canal latéral comme le sont les pompes WITT ou SIHI.

La fermeture de la vanne d'aspiration est à proscrire. Outre le fait de générer la cavitation, cette manoeuvre n'apporte pas de renseignements utiles.

La mesure de l'intensité absorbée par le moteur n'est pas un moyen fiable pour déterminer le sens de rotation.

Interprétation des relevés.

Déterminer le débit volume Qv d'une pompe, connaissant le ΔP entrée/sortie.

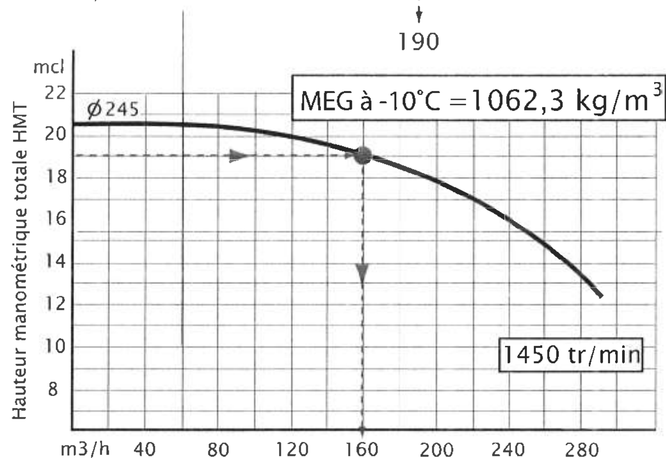


Δ P mesuré = 1,77 bar soit 177 000 pascal

$$\Delta P = \rho \times g \times HMT$$

$$HMT = \frac{\Delta P}{\rho \times g} = \frac{177\,000}{1000 \times 9{,}81} \cong 18 \text{ m}$$

Le Qv est égal à 190 m³/h.

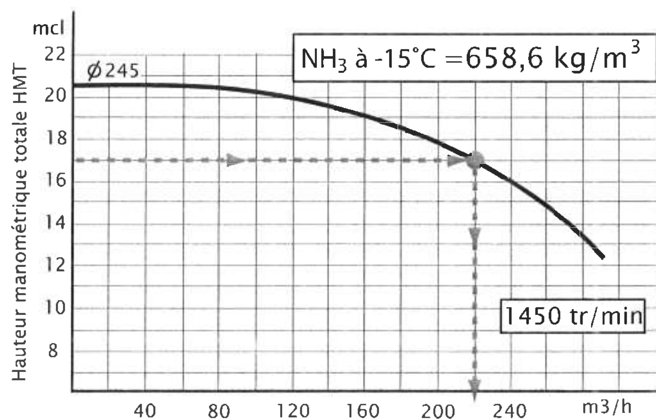


Δ P mesuré = 2 bar soit 200 000 pascal

$$\Delta P = \rho \times g \times HMT$$

$$HMT = \frac{\Delta P}{\rho \times g} = \frac{200\,000}{1062{,}3 \times 9{,}81} \cong 19 \text{ m}$$

Le Qv est égal à 160 m³/h.



Δ P mesuré = 1,1 bar soit 110 000 pascal

$$\Delta P = \rho \times g \times HMT$$

$$HMT = \frac{\Delta P}{\rho \times g} = \frac{110\,000}{658{,}6 \times 9{,}81} \cong 17 \text{ m}$$

Le Qv est égal à 220 m³/h.

e,

Interprétations des relevés.

Unités utilisées dans les calculs :

HMT en m ΔP en pascal ρ en kg/m³ $g = 9{,}81\ m/s^2$

⇨ L'échelle des HMT est exprimée en mCE, la pompe transporte de l'eau.
Le ΔP en bar, multiplié par 10, peut être considéré comme la HMT en mètre si l'on admet qu'une colonne d'eau de 10 mètres correspond à environ 1 bar.
Calculs :
à 10 °C, une colonne de 10 mètres d'eau représente 999,73 x 9,81 x 10 = 98073,5 pascal,
à 40 °C, une colonne de 10 mètres d'eau représente 992,24 x 9,81 x 10 = 97338,7 pascal.

⇨ L'échelle des HMT est exprimée en mcl, le calcul de la hauteur se fait avec la masse volumique du liquide pompé. Exemples page de gauche.

⇨ L'échelle des HMT est exprimée en mCE, le liquide pompé a une masse volumique différente de celle de l'eau.
Dans ce cas, pour retrouver le Qv, il faut faire une conversion d'unité.
Exemple : la pompe transporte de l'eau glycolée.

$$\Delta P \text{ mesuré} = \rho \text{ (E.G.)} \times g \times HMT \text{ (E.G.)}$$

Les valeurs avec de l'eau seraient : $\Delta P \text{ mesuré} = \rho \text{ (eau)} \times g \times HMT \text{ (eau)}$

La $HMT \text{ (eau)} = \dfrac{\Delta P \text{ mesuré}}{\rho \text{ (eau)} \times g}$ la lecture sur la courbe est possible.

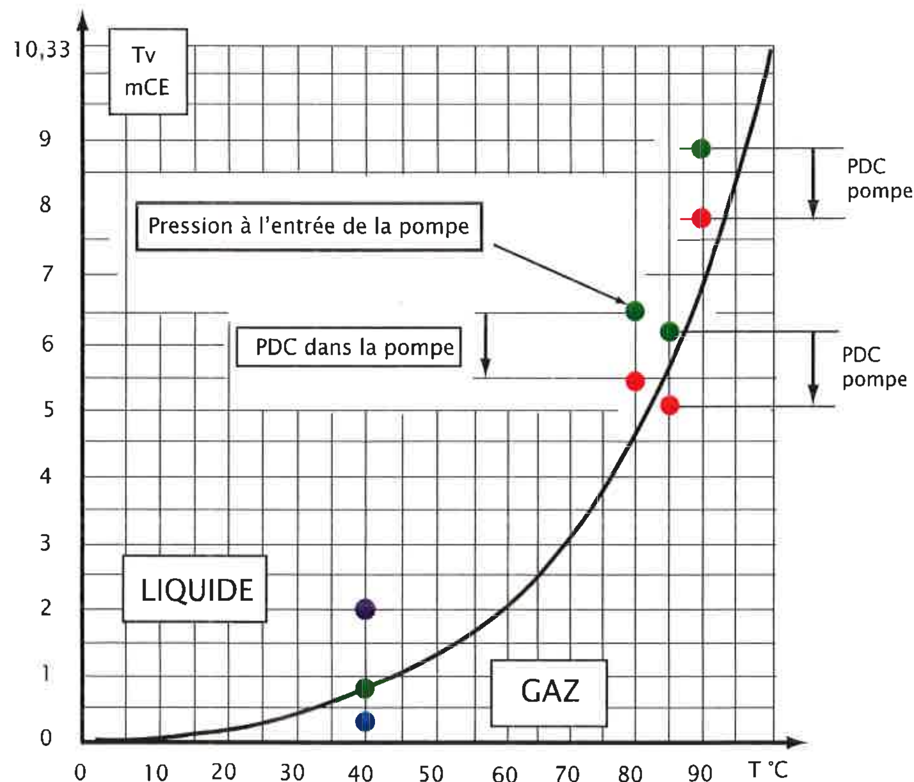
Condition d'aspiration d'une pompe.

La distance qui sépare le point vert du point rouge est la perte de charge (PDC) de la pompe, autrement dit le NPSH requis.

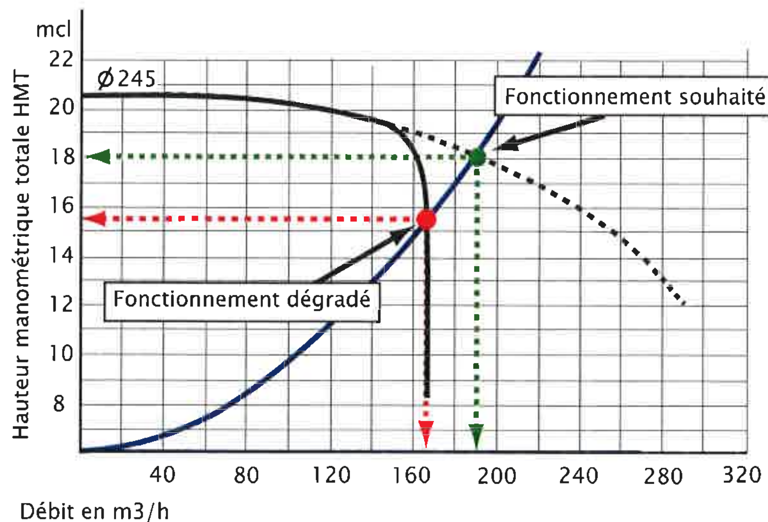
Pour le débit souhaité, la pompe a un NPSH de 1 mètre.
Ce qui correspond à une pression de :
$P = \rho \times g \times h = 1000 \times 9{,}81 \times 1 = 9810$ pascal soit 0,09810 bar.

Le point vert est la pression à l'entrée de la pompe, c'est le concepteur du réseau qui détermine ce point, c'est le NPSH disponible.

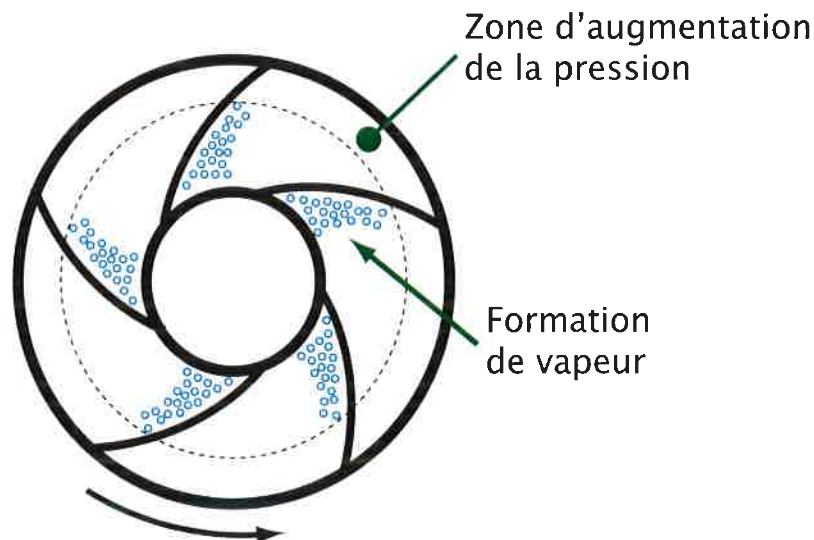
Sur la page de droite, une analyse des événements possibles.



Courbe de tension (ou pression) de vapeur de l'eau.



Courbe caractéristique altérée par la cavitation.



La
La c
A ce
Illu
Cor
Obs
N.B.

La cavitation.

La cavitation est un phénomène physique qui apparaît lorsque la pression diminue pour atteindre la tension de vapeur du liquide pompé.

A cet instant, le liquide produit de la vapeur, les bulles de gaz prennent la place du liquide et perturbent le fonctionnement de la pompe.

Illustrations : sur la courbe de tension de la vapeur d'eau, 5 cas pour comprendre ce qui se produit dans une pompe.

- ≈ Premier cas : l'eau est à 40°C, sa tension de vapeur est de 73,75 mbar (point vert), une augmentation de pression (point violet) n'apporte pas de changement notable, par contre un abaissement de la pression met le liquide en ébullition (point bleu).
- ≈ Deuxième cas : l'eau pompée est à 80 °C, il n'y aura pas de cavitation, en effet, la pression la plus faible dans la pompe est au-dessus de la courbe de saturation.
- ≈ Troisième cas : l'eau pompée est à 85°C, mais la pression à l'entrée de la pompe est insuffisante, la pression dans la pompe est inférieure à la tension du liquide, il y aura ébullition de l'eau et donc cavitation.
- ≈ Quatrième cas : l'eau pompée est à 90 °C. La conception du réseau augmente la pression de l'eau à l'entrée de la pompe. La PDC n'a pas d'incidence, la pression de l'eau reste au-dessus de la courbe de saturation, il n'y aura pas de cavitation.

Conséquences :

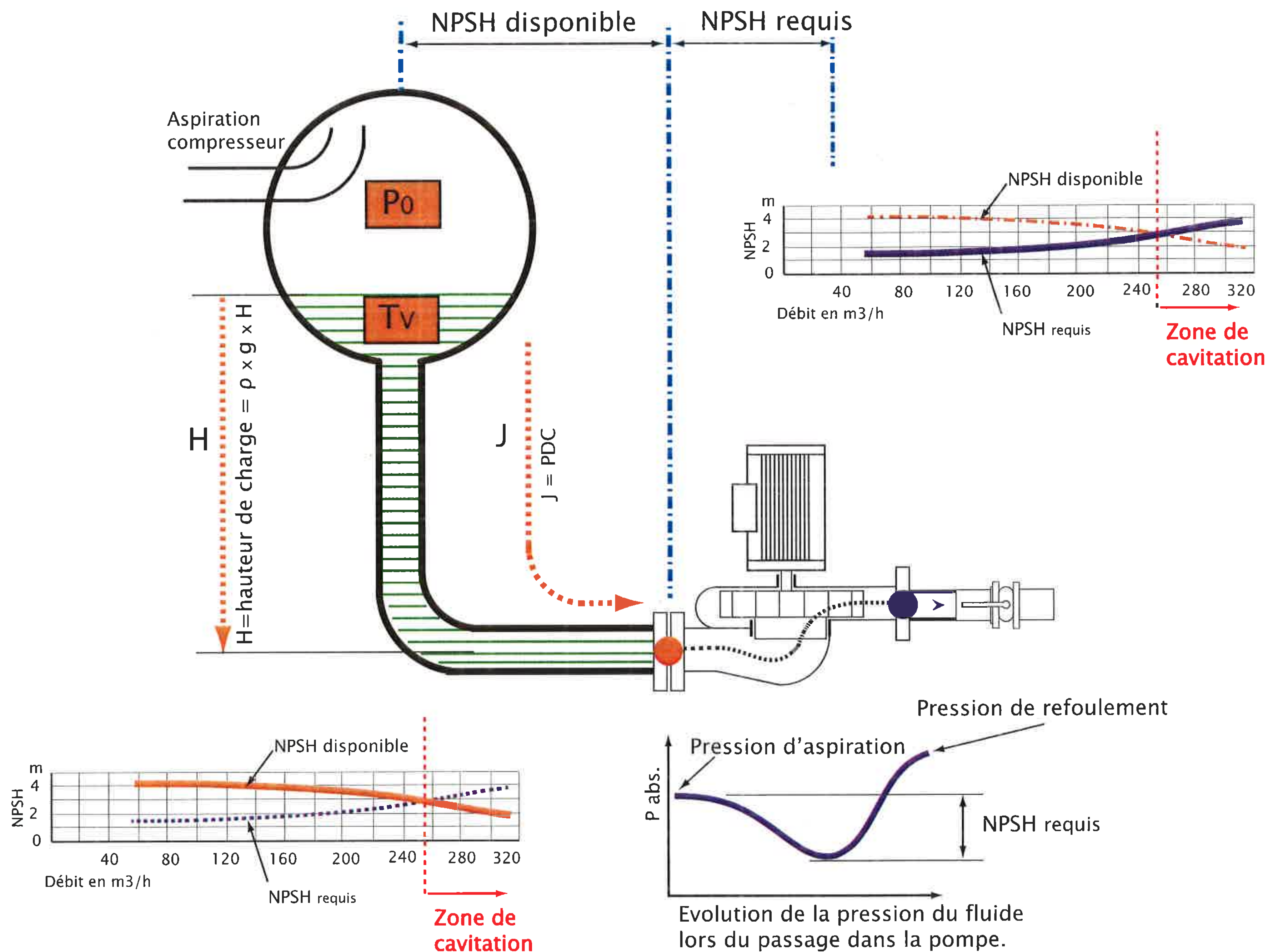
- ≈ hydraulique : la présence de gaz dans la pompe réduit le débit masse de liquide,
  la chute de la hauteur manométrique ne permet plus d'alimenter les postes éloignés de la pompe,
- ≈ mécanique : dès l'entrée en cavitation, des vibrations apparaissent avec des conséquences sur la tenue de l'électropompe,
- ≈ physique : les bulles de gaz, plus légères que le liquide, sont rejetées par la roue et atteignent des zones de plus grandes pressions. Dans ces zones, la vapeur se condense laissant un espace libre pour le liquide qui prend la place du gaz.
  La vitesse du liquide à ces endroits est très importante, à chaque implosion du gaz, le liquide frappe la roue.
  Par martèlements successifs, la roue se détériore, la mise hors service peut être très rapide.
  Au démontage de la pompe, les cratères sur la roue sont les signes d'une cavitation.

Observations:

- ≈ le bruit de "gravillons brassés" par la pompe est caractéristique. Mais le niveau sonore des salles des machines couvre souvent ces crépitements,
- ≈ les aiguilles des manomètres vacillent,
- ≈ les échanges thermiques ne correspondent plus aux attentes du client.

N.B. La cavitation est souvent associée à la pompe, mais elle peut se produire à tout endroit d'un circuit si les conditions de vaporisation sont réunies (pression/température). Les vannes, régulateurs et filtres, sont le siège de cavitations qui n'ont pas d'effet immédiat sur le fonctionnement, mais le gaz ainsi formé se retrouve ultérieurement dans la pompe.

Conditions d'un bon fonctionnement





Conditions d'un bon fonctionnement : les NPSH*.

Le NPSH requis est une caractéristique de la pompe, sa valeur apparaît sur les courbes caractéristiques des pompes, elle varie avec le débit.
Il représente la baisse de pression du liquide lors du passage dans la pompe, c'est donc la perte de charge dans celle-ci.

Le NPSH disponible est une caractéristique du réseau. C'est la conception de l'installation qui en détermine sa valeur.

Pour éviter la cavitation le NPSH disponible > NPSH requis.

$$\text{NPSH disponible} = \frac{Po - Tv}{\rho} + H - J$$

Lors d'une mise en route ou lors d'un dépannage, il est possible d'agir sur ces variables et ainsi obtenir le bon fonctionnement. Ces variables sont :

ρ : c'est la masse volumique, nous avons tout intérêt à avoir une masse volumique élevée (ρ) en diminuant la température du liquide.

Po : c'est la pression de la phase gazeuse,

Tv : c'est la tension de vapeur du liquide pompé.

Commentaires sur Po et Tv : à priori elles sont identiques, mais la masse de gaz est très faible par rapport à la masse de liquide, aussi les variations de pression du gaz sont beaucoup plus rapides que les variations de pression du liquide. En service, la différence Po - Tv est faible et négative. C'est pour éviter une trop grande valeur négative que la montée en puissance des compresseurs doit être lente, très lente.

H : c'est la hauteur de charge, elle détermine la pression obtenue par la colonne de liquide. Pression = $\rho \times g \times H$.

J : ce sont les pertes de charge dans la colonne d'aspiration : nous pouvons agir sur le débit dont elles dépendent en partie.

Le fait de "vanner" c'est-à-dire d'étrangler la vanne de refoulement de la pompe permet de réduire le débit et ainsi diminuer les pertes de charge.

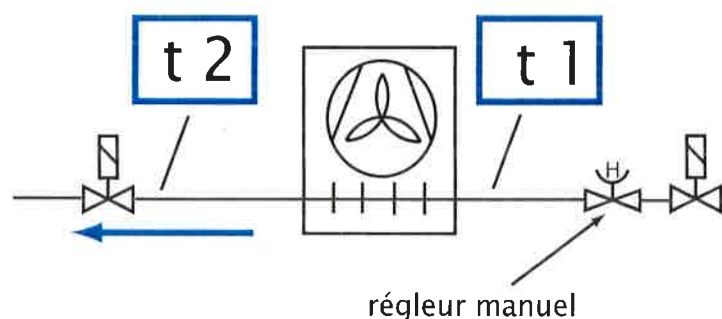
*NPSH signifie Net Positive Suction Head. Le NPSH (a) correspond au NPSH disponible, le NPSH (r) correspond au NPSH requis.
La dénomination française est assez peu usitée : CNA signifie Charge Nette Aspiration.

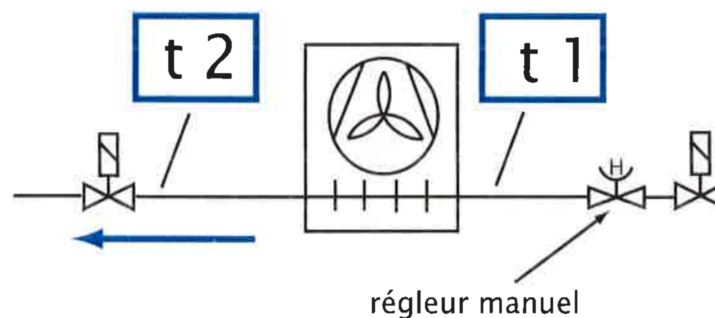
La circulation de fluide frigorigène par pompe.

La distribution de fluide frigorigène par pompe présente principalement ces avantages :

⇨ de regrouper les composants importants dans un même lieu (salle des machines),
⇨ d'éliminer les contraintes de distance entre la salle des machines et les évaporateurs,
⇨ d'alimenter de façon régulière les évaporateurs quelle que soit la pression de condensation,
⇨ d'éliminer les contraintes de hauteur nécessaires à l'implantation de systèmes "flood" ou gravitaires,
⇨ d'optimiser les échanges de chaleur dans les évaporateurs,
⇨ de faciliter le dégivrage par gaz chaud par un retour des condensats dans la bouteille séparatrice BP.

Composants :
La conception des évaporateurs est différente des évaporateurs à détente directe. Ils ne possèdent pas de distributeur mais un collecteur pour la répartition du fluide frigorigène liquide.
Des régleurs permettent la répartition quantitative du fluide frigorigène entre les différents évaporateurs.





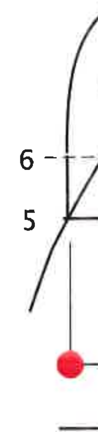
t1 = −15 °C   t2 = − 10 °C
L'évaporateur est en état de surchauffe : le régleur est trop fermé, ce qui ne correspond pas à un réglage optimum pour un évaporateur "noyé".

t1 = −15 °C   t2 = − 15 °C
La température t 2 prouve la présence de liquide en sortie d'évaporateur, le réglage est correct mais il sera ajusté en fonction des autres évaporateurs.

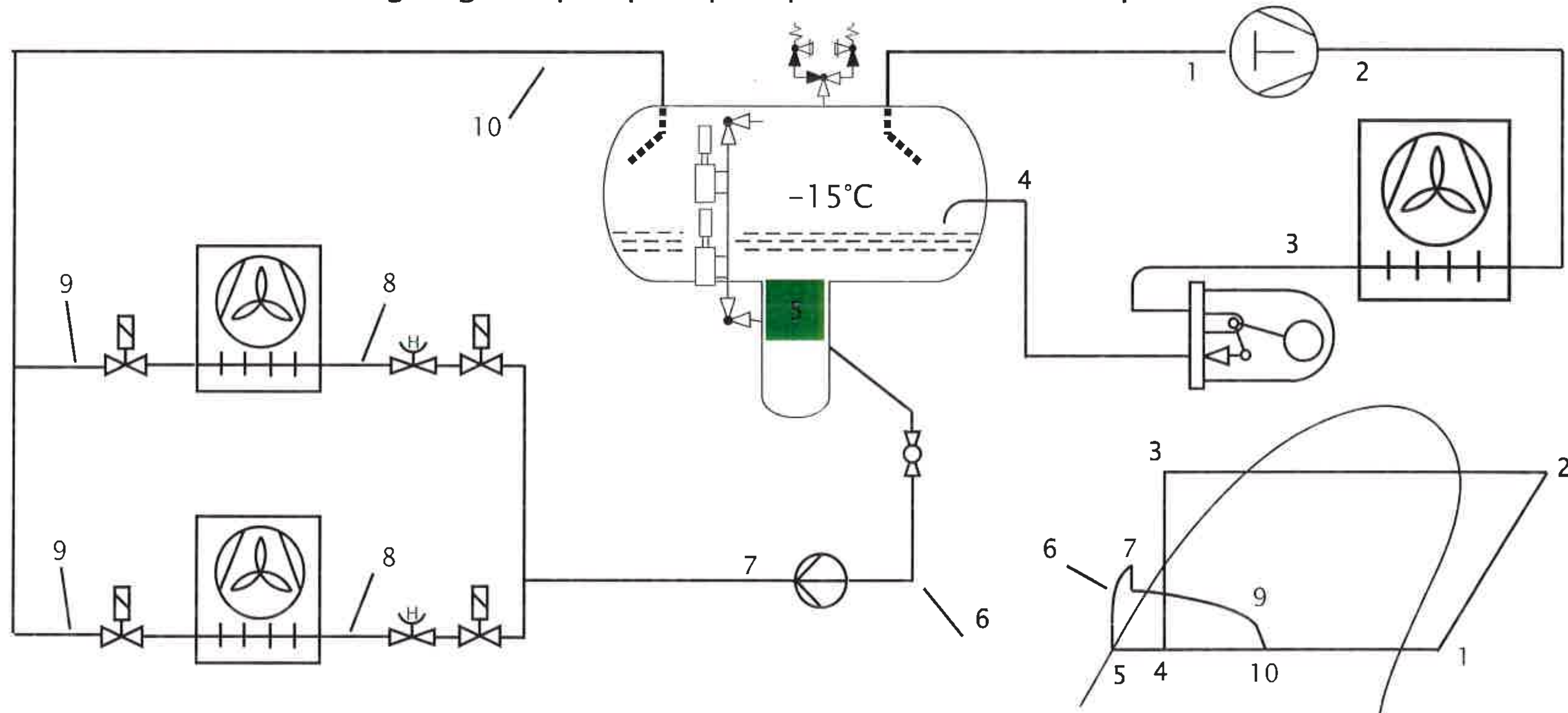
Commentaires de la page de droite.

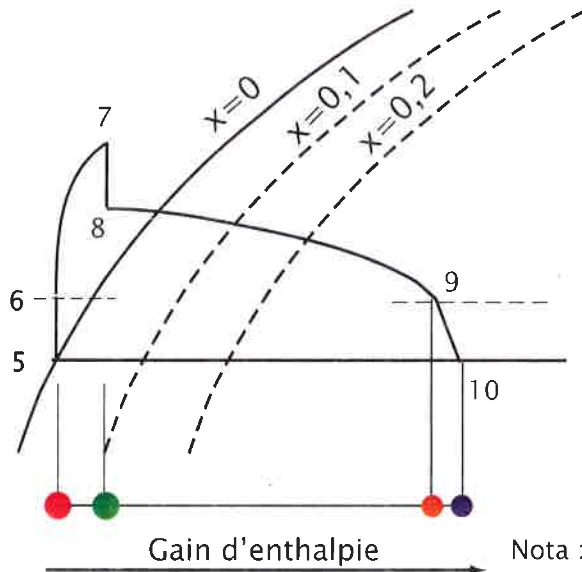
L'état du fluide au retour des évaporateurs, point 10, est un mélange de liquide et de vapeur. Le pourcentage de liquide dépend du taux de recirculation choisi pour la détermination de la pompe. Pour un taux de 3, la tuyauterie contient 33% de vapeur et 67 % de liquide. Dans notre cas, la température de la tuyauterie est de −15°C puisque nous sommes en présence de liquide et de vapeurs saturantes.

La présence de liquide dans ces réseaux implique une bonne préparation des interventions.



Circulation de fluide frigorigène par pompe : points caractéristiques.





Evolutions des pressions et des enthalpies.

De 5 à 6 pression de la colonne de liquide (ρ x g x h).

De 6 à 7 pression fournie par la pompe, et gain d'enthalpie ● → ●

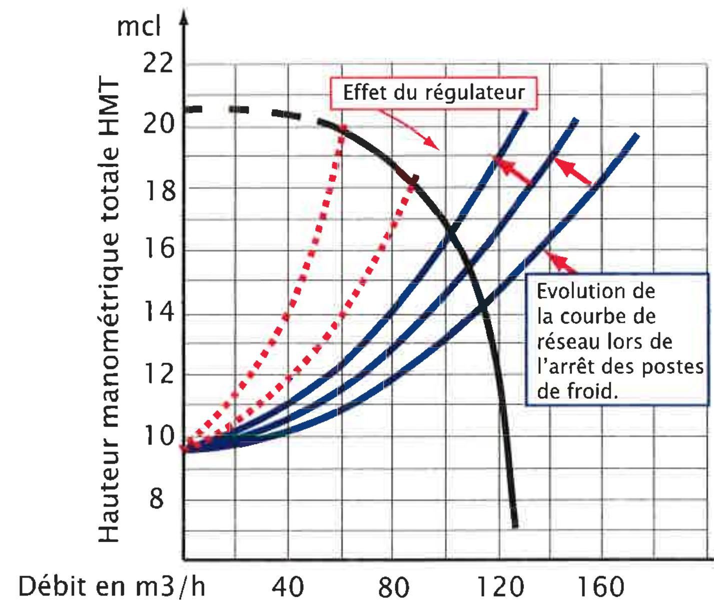
De 7 à 8 chute de pression dans les régleurs. (transformation isenthalpe)

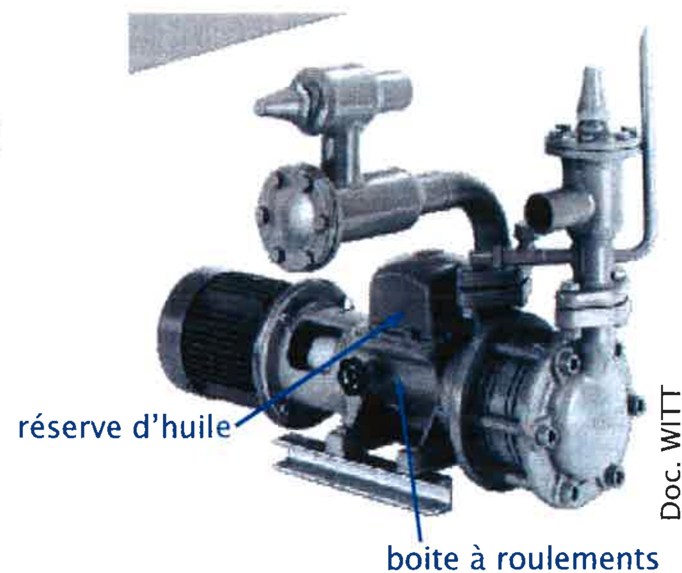
De 8 à 9 chute de pression dans les évaporateurs, et gain d'enthalpie ● → ●

De 9 à 10 chute de pression dans la tuyauterie de retour des évaporateurs, et gain d'enthalpie ● → ●

Nota : seuls les composants indispensables à la compréhension du sujet traité sont représentés.

Retour évaporateurs
Aspiration compresseur
Alimentation par flotteur HP
B
L Z H
L Z L
A
G C
G C
G
C
P I
P I
PDSL
P D S L
E
P C
P C
P
F
D
Vers les stations





Station de pompes d'une installation frigorifique. Pompes WITT.

Le liquide à distribuer est contenu dans la bouteille séparatrice horizontale, la pompe est placée au-dessous, elle est donc "en charge".
Le refroidissement du moteur se fait avec l'air ambiant, la lubrification avec l'huile contenue dans le carter central.
Ces pompes sont à canal latéral. Un filtre, non représenté sur le plan, est placé à l'entrée de la pompe.
Certains installateurs positionnent un filtre au refoulement de la pompe.

Liste des composants utiles pour la sécurité ou la régulation de la pompe :

- ≈ A - cloisonnement anti-vortex. Ce dispositif évite l'effet tourbillonnaire qui engendre, par baisse de pression, l'apparition de gaz.
- ≈ B- contrôleur de niveau. Il met la pompe à l'arrêt si le niveau de fluide frigorigène baisse dans la bouteille.
- ≈ C - pressostat différentiel (PDSL). Lorsque la pression différentielle diminue la pompe est mise à l'arrêt.
- ≈ D -régulateur amont. Il est utilisé en sécurité pour éviter une augmentation importante de la pression du liquide à l'arrêt. Il sera réglé en fonction du fluide frigorigène à une pression correspondant à 25/30°C.
- ≈ E - vanne plombée ouverte. Elle complète la ligne de sécurité du régulateur amont D.
- ≈ F - vanne régulatrice avec pilote différentiel. A l'arrêt des postes de froid, la hauteur manométrique s'élève, alors cette vanne évite un fonctionnement dans une zone déconseillée par le constructeur.
- ≈ G - vanne de gaz chaud raccordée au circuit HP. A l'arrêt de la pompe, elle est utile pour :
  - dégivrer la pompe,
  - retirer le liquide avant une opération de maintenance,
  - retirer l'huile dans le cas d'une installation à l'ammoniac (facteur de cavitation),
  - régler le régulateur D.

Commentaires : cette station est conçue pour répondre aux attentes du constructeur, de l'exploitant ainsi qu'aux préconisations de sécurité.

Cette conception est un exemple, les objectifs peuvent être atteints avec d'autres matériels.

Pour les installations munies de plusieurs pompes, optez pour une alternance basée sur des temps de fonctionnement de 1/3 et 2/3.

En effet, l'alternance à 50 % conduit les pompes au même degré d'usure, ce qui peut poser problème au moment de la révision.

Retour évaporateurs

Aspiration compresseur

Alimentation par flotteur HP

B

LZH

LZL

A

GC

GC

G

F

C

PDSL

PDSL

PI

PI

D11

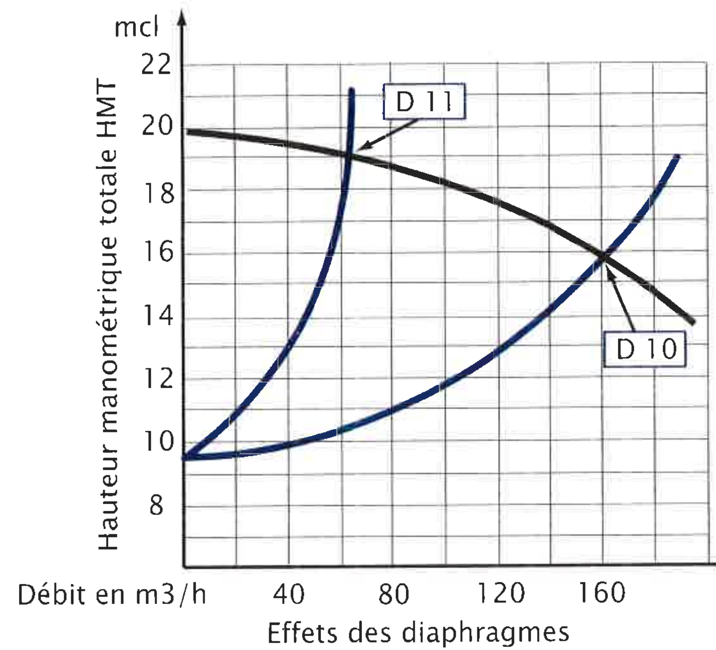
D10

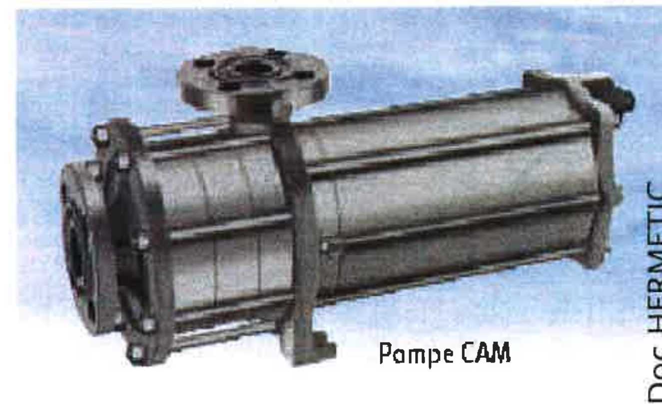
PC

PC

E

Vers les stations





Static

Le liqu
"en cha
Le refr
pompe
Certair
Liste d

≈
≈
≈
≈
≈
≈
≈
≈

Comm
préconi
Pour le
1/3 et
En effet
de la ré

Station de pompes d'une installation frigorifique. Pompes Hermétic.

Le liquide à distribuer est contenu dans la bouteille séparatrice horizontale, la pompe est placée au-dessous, elle est donc "en charge".
Le refroidissement du moteur ainsi que la lubrification sont obtenus à l'aide du fluide frigorigène en circulation dans la pompe. Ces pompes sont centrifuges. Un filtre, non représenté sur le plan, est placé à l'entrée de la pompe.
Certains installateurs positionnent un filtre au refoulement de la pompe.

Liste des composants utiles pour la sécurité ou la régulation de la pompe :

≈ A - cloisonnement anti-vortex. Ce dispositif évite l'effet tourbillonnaire qui engendre, par baisse de pression, l'apparition de gaz.

≈ B - contrôleur de niveau. Il met la pompe à l'arrêt si le niveau de fluide frigorigène baisse dans la bouteille.

≈ C - pressostat différentiel (PDSL). Lorsque la pression différentielle diminue, la pompe est mise à l'arrêt.
Ce pressostat peut être remplacé par un relais de puissance absorbée. Ce relais est raccordé aux 3 phases ainsi qu'à un transformateur d'intensité. A l'apparition d'une cavitation, le dispositif détecte la chute de la puissance absorbée et, après une temporisation, arrête la pompe (schéma page 142).

≈ D 10 - diaphragme de débit maximum. Il évite à la pompe de fonctionner dans une zone de fort débit pouvant générer la cavitation ou des surintensités.

≈ D 11 - diaphragme de débit minimum. Il assure le refroidissement et la lubrification de la pompe, indépendamment des demandes du réseau.
A l'arrêt, Il permet le dégazage de la pompe, ce qui facilite son démarrage.

≈ E - régulateur amont. Il est utilisé en sécurité pour éviter une augmentation importante de la pression du liquide à l'arrêt. Il sera réglé en fonction du fluide frigorigène à une pression correspondant à 25/30°C.

≈ F - vanne plombée ouverte. Elle complète la ligne de sécurité du régulateur amont E.

≈ G - vanne de gaz chaud raccordée au circuit HP. A l'arrêt de la pompe, elle est utile pour :
dégivrer la pompe,
retirer le liquide avant une opération de maintenance,
retirer l'huile dans le cas d'une installation à l'ammoniac (facteur de cavitation),
régler le régulateur E.

Commentaires : cette station est conçue pour répondre aux attentes du constructeur, de l'exploitant ainsi qu'aux préconisations de sécurité. Cette conception est un exemple, les objectifs peuvent être atteints avec d'autres matériels.
Pour les installations munies de plusieurs pompes, optez pour une alternance basée sur des temps de fonctionnement de 1/3 et 2/3.
En effet, l'alternance à 50 % conduit les pompes au même degré d'usure, ce qui peut poser problème au moment de la révision.

10

Doc HERMETIC

Défauts de circulation de liquide dans un réseau.

Le manque de circulation peut être dû à :
- ⇨ la cavitation de la pompe
- ⇨ la prise en glace d'un évaporateur refroidisseur de liquide,
- ⇨ le colmatage d'un filtre, etc.

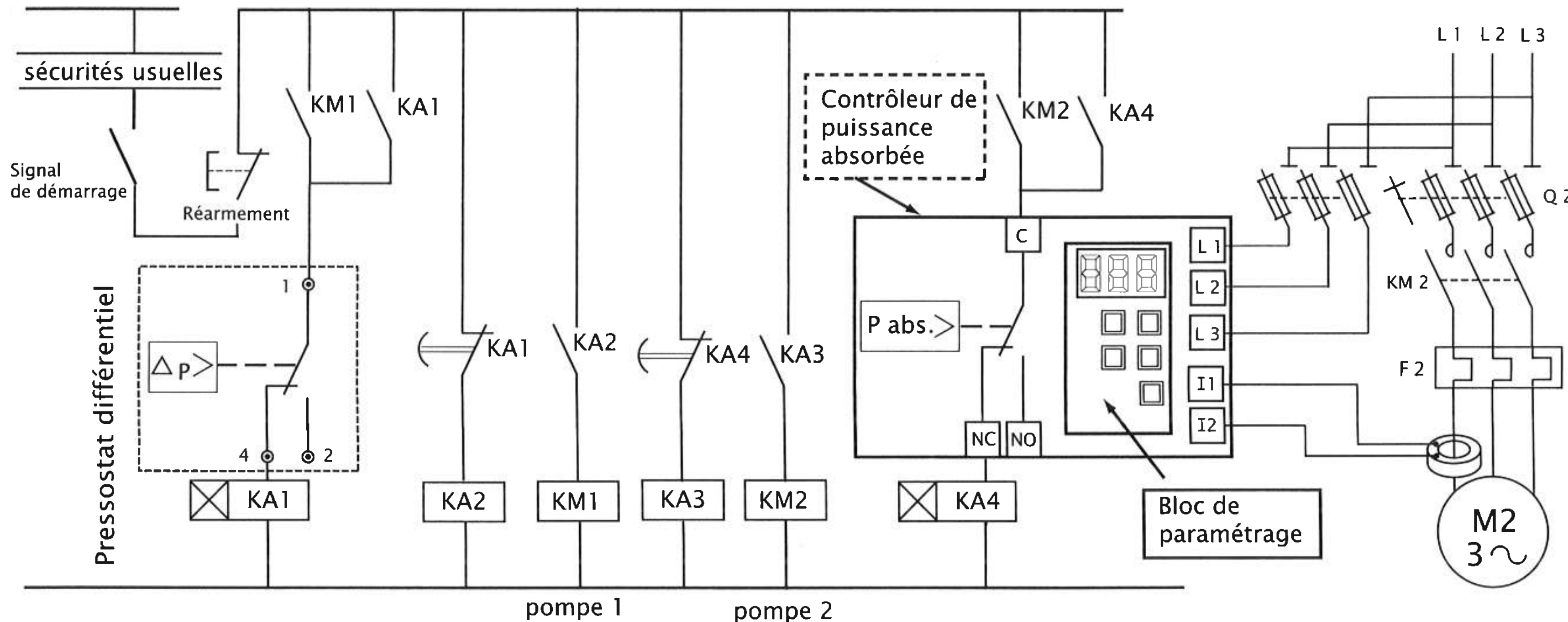
Dispositifs de contrôle des débits :
- ⇨ les pressostats différentiels
- ⇨ les contôleurs de débits ou «flow switch»,
- ⇨ les contrôleurs de puissance absorbée.

Les contrôleurs de débit équipent particulièrement les circuits d'eau, d'eau glycolée ou de saumure.
Notez que les contrôleurs de débit et les pressostats différentiels ont en commun leurs positions au repos : il sont en défaut.

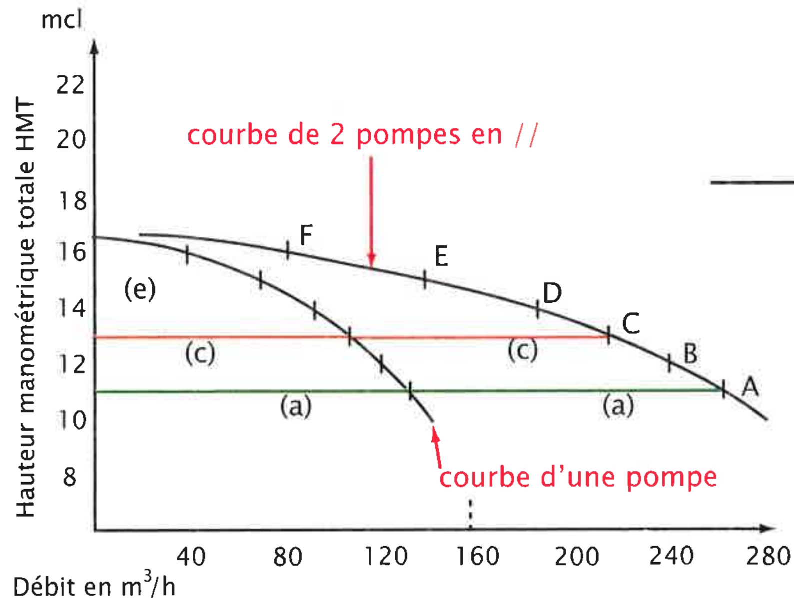
Détection de la cavitation d'une pompe de type HERMETIC.

Deux grandeurs physiques peuvent être utilisées pour la détection de la cavitation :
- ⇨ la mesure du ΔP, c'est le cas de la pompe 1. La description du pressostat différentiel est détaillée pages 176 et 177.
- ⇨ La mesure de la puissance absorbée par le moteur.
  Le contrôleur est alimenté avec les 3 phases du réseau et l'intensité de l'une des phases. Le bloc de paramétrage permet de choisir une puissance absorbée, en dessous la cavitation est avérée.

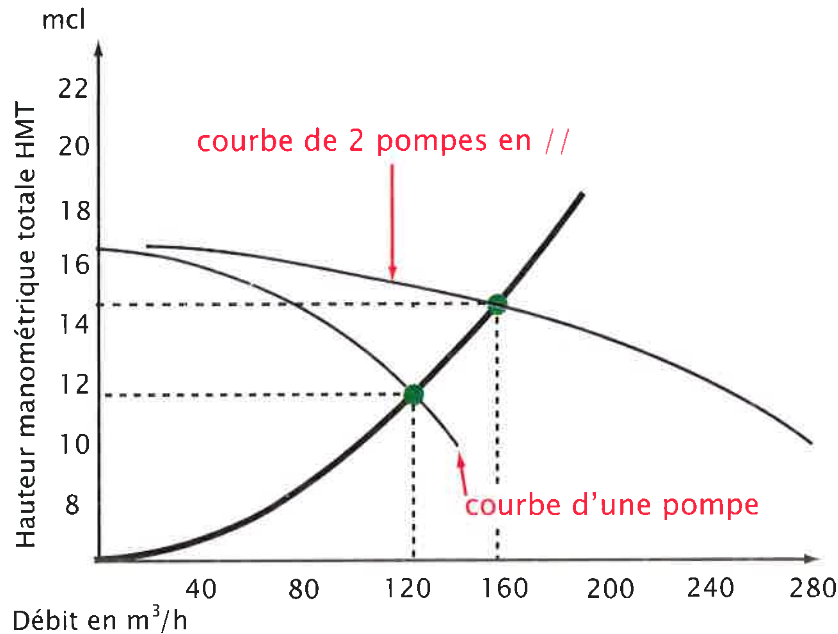
Dans les 2 solutions proposées, le défaut est pris en compte après l'écoulement de la temporisation, un réarmement manuel est nécessaire pour le redémarrage de la pompe.
L'emploi d'automates programmables facilite la mise en place de séquences d'automatismes :
1) arrêt de la pompe après chaque défaut, 2) comptage de 3 défauts, 3) mise en route de la seconde pompe après 3 défauts consécutifs.

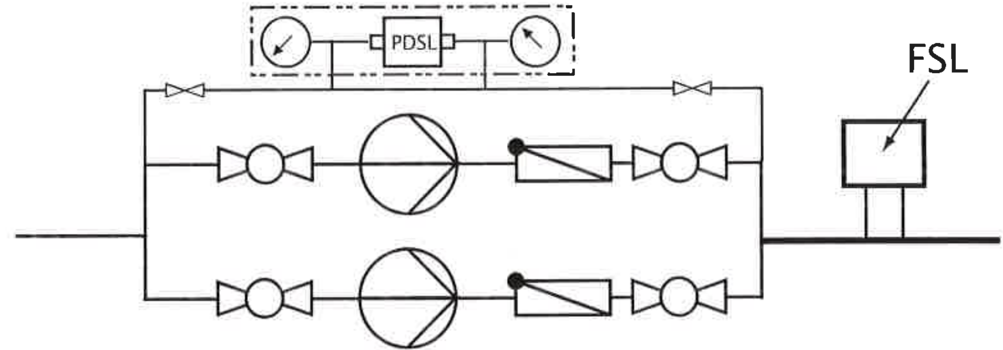


Mise en parallèle de 2 pompes.



Construction de la courbe de 2 pompes en parallèle.





La mise en parallèle de 2 pompes identiques est très fréquente sur nos installations.
La mise en service de la seconde pompe est asservie

- ⇨ à un capteur de pression situé au refoulement,
- ⇨ à une sonde de température sur un échangeur.

Les clapets de non-retour ont leur utilité lorsque l'une des pompes est à l'arrêt.
Méthode graphique pour tracer la courbe des 2 pompes en parallèle:

- ⇨ reporter des segments correspondant au débit de la pompe à droite de la première courbe (segments orange et vert),
- ⇨ continuer ces reports aux différents niveaux (a), (b), (c), (d), (e) et (f).

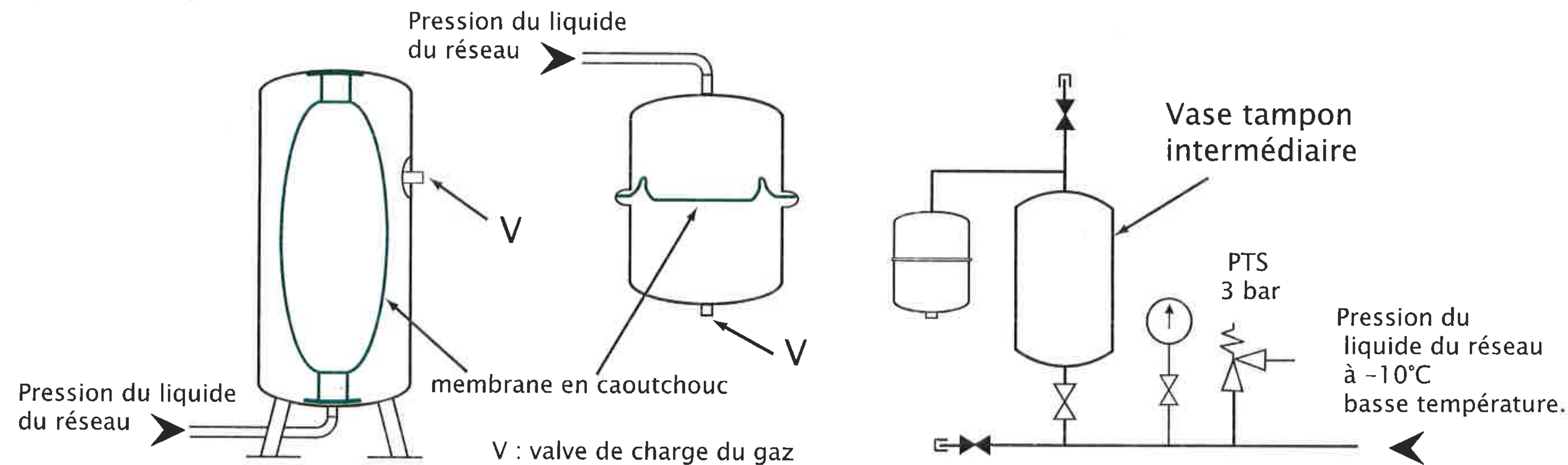
La jonction des points A, B, C, D, E et F donne la courbe des 2 pompes en parallèle.

La mise en service de la seconde pompe fait passer le débit de 120 à 160 m^3/h et non pas à 240 m^3/h comme on pourrait le supposer.
En effet, ce sont les pertes de charges du réseau qui déterminent le nouveau débit.

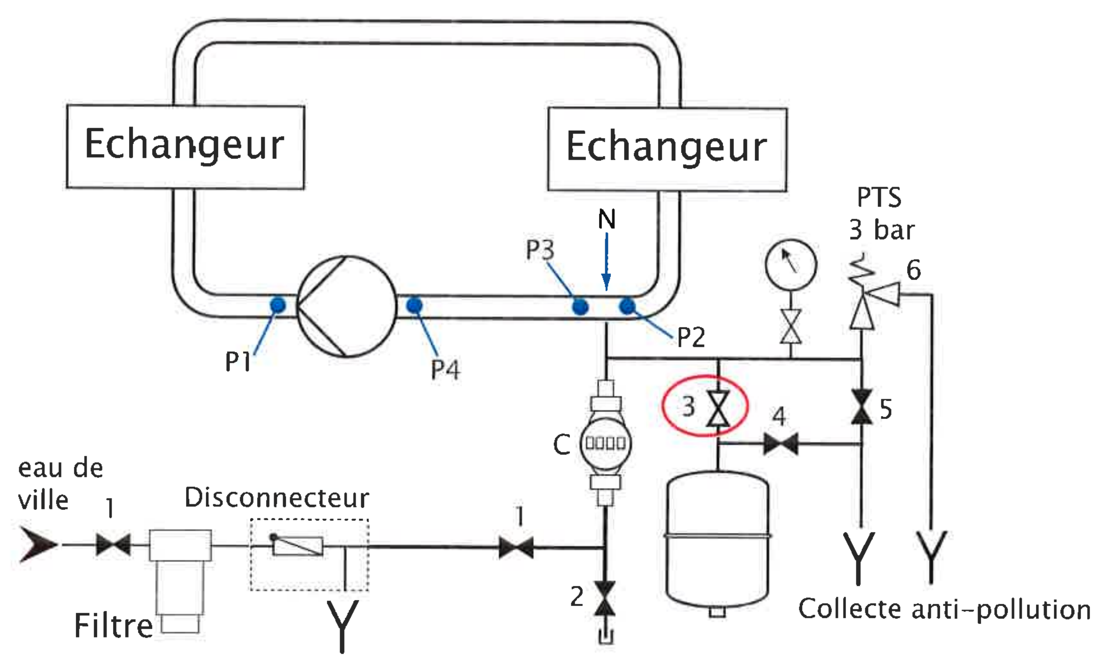
Notes personnelles

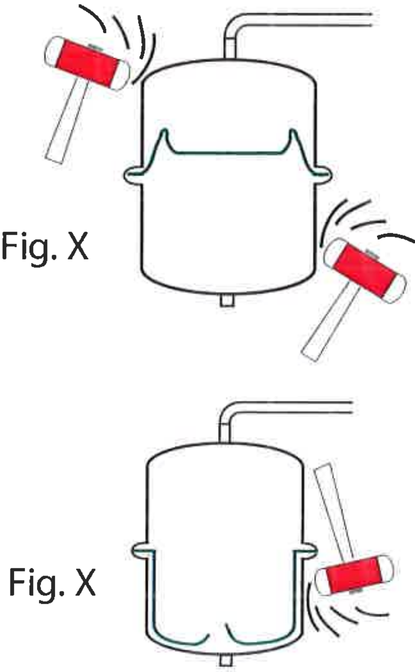
Les vases d'expansion.

Vases d'expansion.



Poste de charge et de protection du réseau.





Les vases d'expansion.

Les circuits frigoporteurs ou caloporteurs sont constitués de réseaux fermés. Dans un circuit, la masse de liquide est invariable par contre le volume occupé par ce liquide dépend de sa température. Ces réseaux n'étant pas élastiques, la variation de volume massique doit être compensée.
L'industrie utilise 3 types de systèmes :

- ⇨ les vases d'expansion à compresseur d'air,
- ⇨ les systèmes de maintien de pression à pompes,
- ⇨ les systèmes d'expansion à charge de gaz fixe, ce sont les plus employés.

La page 156 comporte des calculs simples qui mettent en évidence les phénomènes de dilatation liés aux variations de température.

Les vases d'expansion sont constitués d'enveloppes métalliques dont le volume est partagé en 2 parties par une membrane souple en caoutchouc. Une partie est raccordée au réseau de liquide et l'autre reçoit une charge de gaz neutre. Ce gaz est introduit par une valve semblable aux valves de gonflage des pneus.

Pour éviter le contact de la membrane avec du liquide trop chaud ou trop froid, un vase tampon intermédiaire est mis en place dans la salle des machines. Le vase d'expansion est soumis à la pression du réseau mais pas à sa température.

Notion de point neutre d'un circuit.
Une pompe en service dans un circuit fermé crée 2 zones :

- ⇨ une zone de refoulement de P1 à P2,
- ⇨ une zone d'aspiration de P3 à P4.

Le point situé entre P2 et P3 est appelé point neutre.

Poste de charge et de protection du réseau :

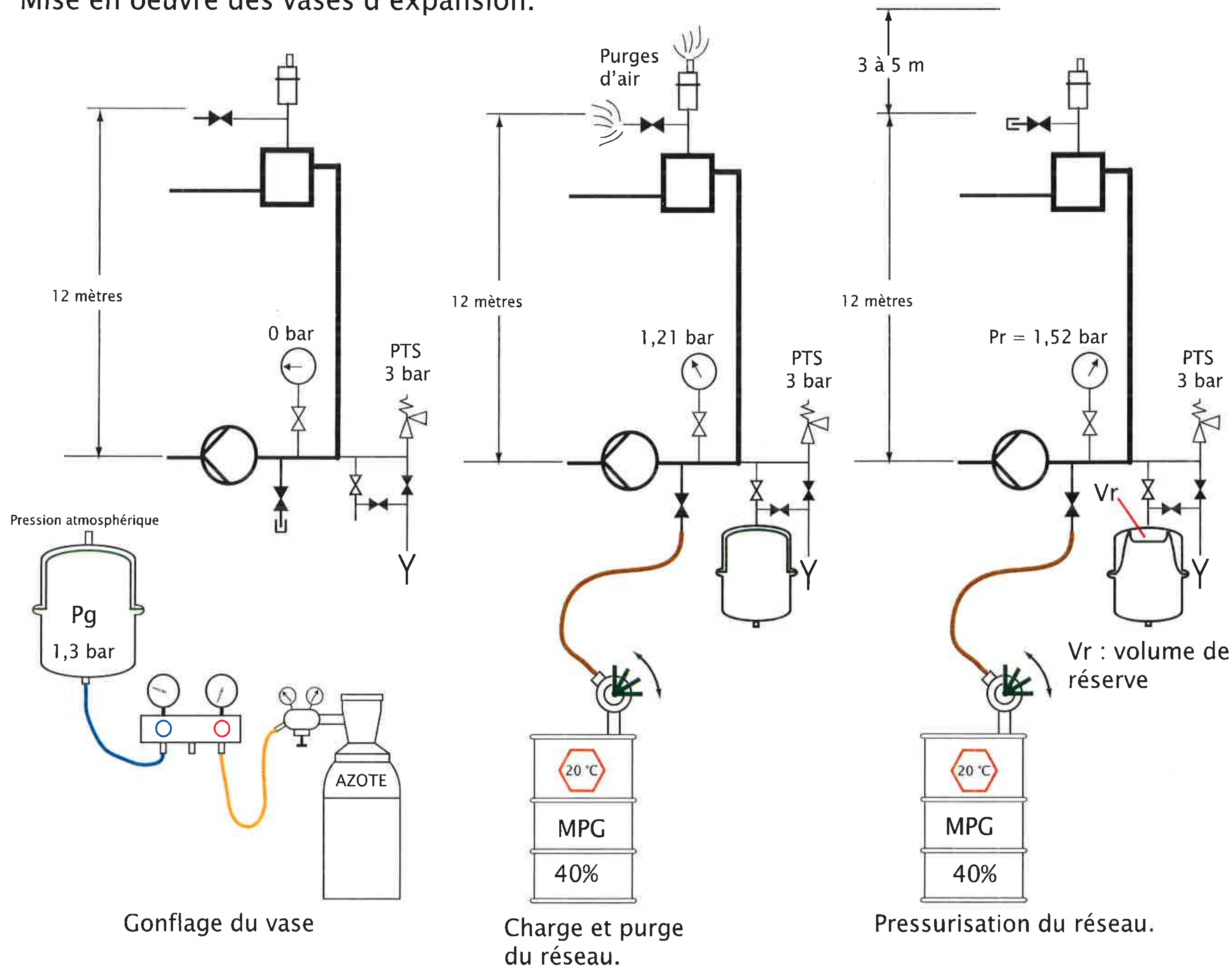
- ⇨ les robinets (1) permettent la charge en eau pure,
- ⇨ le robinet (2) permet la charge de produits purs, de solutions déjà dosées comme l'alcali ou les eaux glycolées,
- ⇨ le robinet (3) permet le contrôle annuel du vase. Son dispositif de fermeture doit être inopérant,
- ⇨ les robinets (4) et (5) servent pour la vidange totale du réseau ou pour la prise d'échantillons,
- ⇨ la soupape (6) protège le réseau de surpressions néfastes à certains composants. Son tarage est souvent de 3 bar,
- ⇨ le compteur (C) permet de connaître la capacité du réseau, ces renseignements figurent dans le dossier technique,
- ⇨ le disconnecteur protège le réseau d'eau de ville d'un éventuel retour d'eau non potable.

Test sonore d'un vase d'expansion.
Le vase est <u>raccordé au circuit</u>, il contient en partie du liquide, en le frappant avec un marteau on obtient :

- ⇨ un son "sourd" dans la zone où il y a de l'eau
- ⇨ un son "métallique" dans la zone de gaz.

Si la membrane est crevée, le son "sourd" est audible en tout point du vase.

Mise en oeuvre des vases d'expansion.



Gonflage du vase

Charge et purge du réseau.

Pressurisation du réseau.

Mise en oeuvre des vases d'expansion.

Les vases sont livrés chargés d'azote à des pressions qui ne conviennent pas nécessairement à nos réseaux. Pour obtenir un bon fonctionnement, il est nécessaire d'adapter la pression du vase.

Première opération : calculer la pression de gonflage du vase. Elle dépend :

≈ du dénivelé du réseau,
≈ de la masse volumique du liquide pompé à sa plus basse température.

Éléments du calcul :
C'est un réseau de MPG à -4°C / -8°C, la température minimum est de -10°C, le ρ est alors de 1048 kg/m³.
Calcul de la pression de gonflage : $\rho \times g \times h = 1048 \times 9{,}81 \times 12 = 123370$ Pa.
Le résultat est arrondi à la valeur supérieure soit 1,3 bar et le vase est gonflé en azote à cette valeur.
Attention : pour cette vérification de la pression, le vase est désolidarisé du réseau.

Deuxième opération : charger le liquide et purger l'air du circuit. La pompe est à l'arrêt.
Le volume de liquide introduit dans le circuit est relevé avec le compteur et consigné dans le dossier technique.
Cette information est très utile pour d'éventuelles opérations de maintenance.
Pendant la charge, l'installation est purgée de son air. L'opération se termine lorsque l'eau arrive aux points de purge.
La pression lue au manomètre Pr est égale à : $\rho \times g \times h = 1035 \times 9{,}81 \times 12 = 121840$ Pa. (ρ à 20°C = 1035 kg/m³)

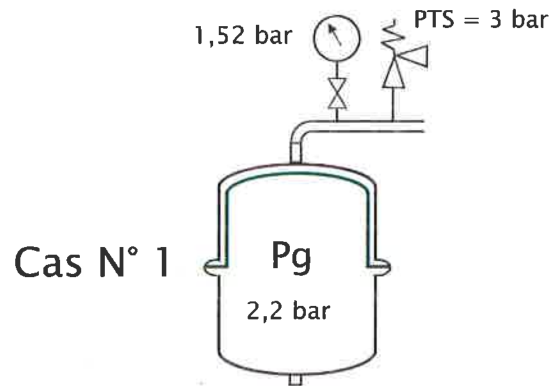
Troisième opération : pressuriser le réseau. La pompe est à l'arrêt.
Cette pression de 1,21 bar est insuffisante, en effet, le MPG, en se refroidissant à -8°C, voit son volume massique passer de 0,966 dm³/kg à 0,954 dm³/kg. La partie haute du réseau se trouve alors en dépression.
Pour remédier à cette situation, la pression de remplissage est plus importante. Selon les cas, la valeur adoptée est de 3 à 5 mètres supplémentaires.
Pour notre part, le calcul se fait avec 15 mètres, soit une pression de remplissage de : $1035 \times 9{,}81 \times 15 = 152300$ Pa.
Lors de la pressurisation du réseau, le liquide pénètre dans le vase et crée un volume de réserve Vr qui sera bien utile au moment de la descente en température.

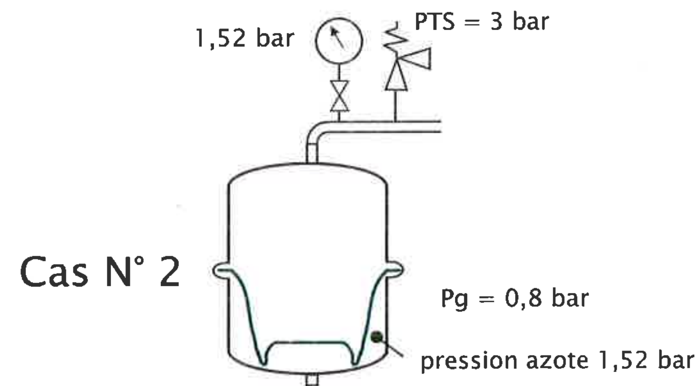
La pressurisation du réseau a pour objectif d'éviter :

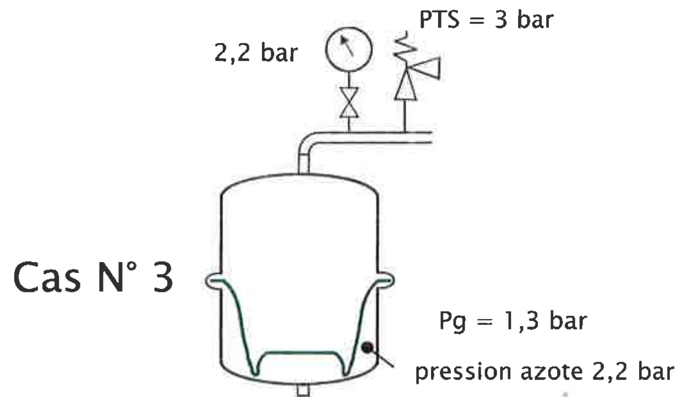
≈ une dépression et le risque d'entrée d'air,
≈ une pression d'aspiration de la pompe trop faible et donc des risques de cavitation,
NB : les pompes ne se situent pas nécessairement au point le plus bas du circuit.
≈ la baisse de pression peut occasionner la vaporisation du liquide, c'est le cas de l'eau chaude ou de l'alcali si celui-ci est réchauffé pour le dégivrage.

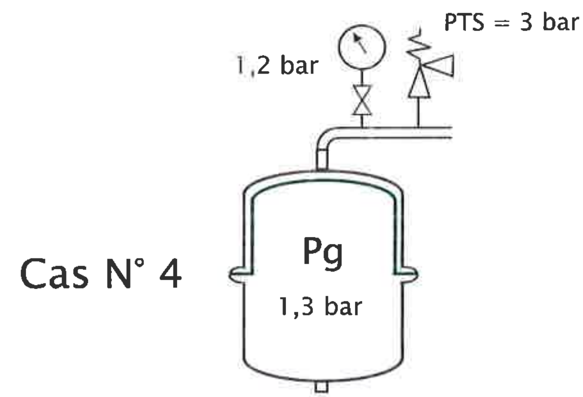
Le tableau de la page 157 donne les pressions minimum à respecter pour éviter la vaporisation de l'ammoniac.

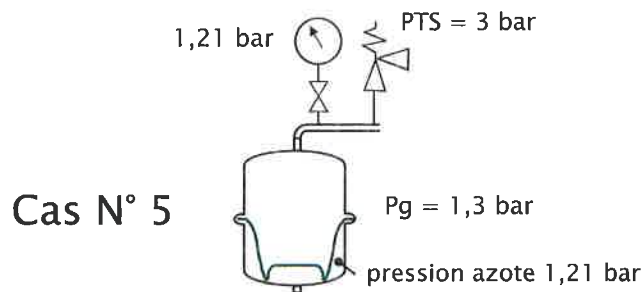
Pressions inappropriées dans les vases ou les réseaux : conséquences.

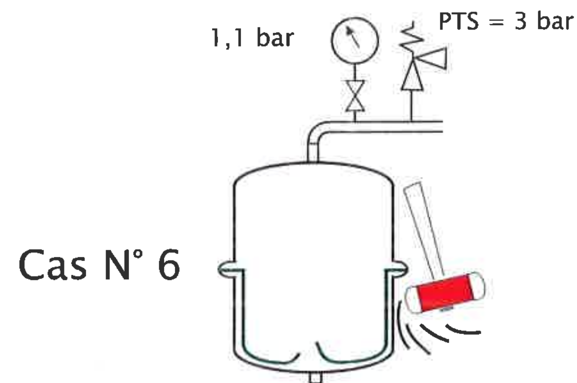












Pressions inappropriées dans les vases d'expansion ou les réseaux : conséquences.

Cas N° 1 : la pression de gonflage Pg est trop importante.

Le liquide ne peut pas pénétrer dans le vase, il n'y a donc pas de volume de réserve.

La température du réseau baisse : le vase est dans l'incapacité de renvoyer du liquide, ceci a pour conséquence la diminution de la pression du liquide (voir pressurisation du réseau page précédente).

La température du réseau augmente : le vase ne peut admettre qu'une petite partie du volume d'expansion. Cette situation conduit à une augmentation rapide de la pression du réseau et un déclenchement de la soupape.

Cas N° 2 : la pression de gonflage Pg est insuffisante (Pg=0,8 bar).

Rapidement après le début du remplissage, la membrane se déforme, le liquide envahit le vase.

La température du réseau augmente : le volume permettant l'expansion du liquide est réduit, la pression du réseau monte rapidement pour atteindre le seuil de déclenchement de la soupape.

La température du réseau baisse : le vase contient suffisamment de liquide pour compenser la variation du volume sans pour autant assurer une pressurisation correcte du circuit.

Cas N° 3 : la pression de remplissage du réseau est trop importante (Pg=1,3 bar).

La température du réseau augmente : le volume d'expansion est réduit, ceci engendre une montée en pression dans le réseau. Suivant la température finale, la soupape déclenchera.

La température du réseau baisse : le vase contient suffisamment de liquide pour compenser la variation du volume.

Cas N° 4 : la pression de remplissage du réseau est trop faible.

La température du réseau augmente : il n'y a pas de conséquence notoire.

La température du réseau baisse : la pression du liquide devient trop basse (pressurisation page précédente).

Cas N° 5 : le vase est trop petit.

La température du réseau baisse : le volume de réserve alimentera le réseau.

La température du réseau augmente : le volume d'azote étant trop faible, la pression augmente rapidement, ce qui provoque le déclenchement de la soupape.

NB : un vase trop grand n'induit pas d'inconvénient, excepté ...le coût!

Cas N° 6 : la membrane est crevée.

Une conséquence est l'augmentation du volume du réseau, avec une baisse de la pression dans celui-ci.

La réserve d'énergie sous forme de pression disparaît.

La tentation est alors grande de compenser avec du liquide. La pression du réseau est de nouveau bonne mais il n'y a plus de volume d'expansion. Dès la montée en température du circuit, la soupape déclenchera.

Calculs en rapport avec les variations de volume des liquides.
Coefficients d'expansion de 4 liquides pour un Δt de 45K.

Eau pure	MPG 35%	MEG 35%	Alcali 22,4%
ρ à +1 °C = 999,9 kg/m³	ρ à -10 °C = 1044 kg/m³	ρ à -10 °C = 1062 kg/m³	ρ à -15 °C = 931 kg/m³
ρ à +46 °C = 989,7 kg/	ρ à +35 °C = 1023 kg/m³	ρ à +35 °C = 1046 kg/m³	ρ à +30 °C = 910 kg/m³
	Coefficient d'expansion :	Coefficient d'expansion :	Coefficient d'expansion :
$\frac{999{,}9-989{,}7}{989{,}7}$ x100 = 1,03 %	$\frac{1044-1023}{1023}$ x100 = 2,05 %	$\frac{1062-1046}{1046}$ x100 = 1,52 %	$\frac{931-910}{910}$ x100 =2,30 %

Pour une installation de 2000 l, le volume d'expansion serait de :

$\frac{2000 \times 1{,}03}{100}$ = 20,60 litres	$\frac{2000 \times 2{,}05}{100}$ = 41 litres	$\frac{2000 \times 1{,}52}{100}$ = 30,4 litres	$\frac{2000 \times 2{,}30}{100}$ = 46 litres

Pressurisation des circuits à l'alcali

Le diagramme ci-dessous permet de déterminer la pression minimum dans le circuit pour éviter toute vaporisation de l'ammoniac.
Le phénomène peut se produire pendant la phase de dégivrage, lorsque la solution est réchauffée à + 25°C.
Dans l'exemple, la concentration de la solution est de 17,7 % d'ammoniac, la pression minimum doit être de 0,33 bar (P abs.)
Les points à surveiller sont particulièrement les points les plus hauts du circuit.

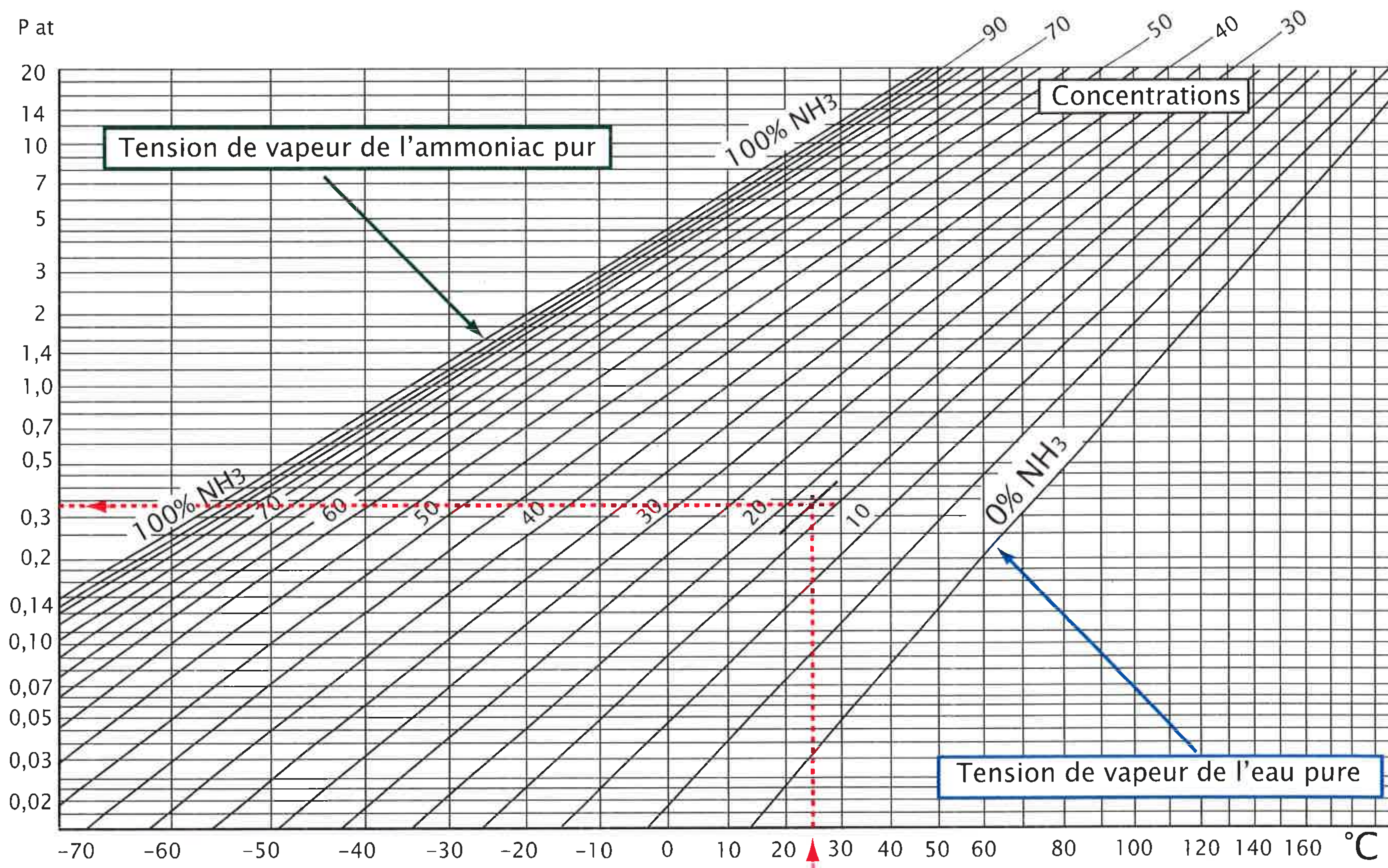
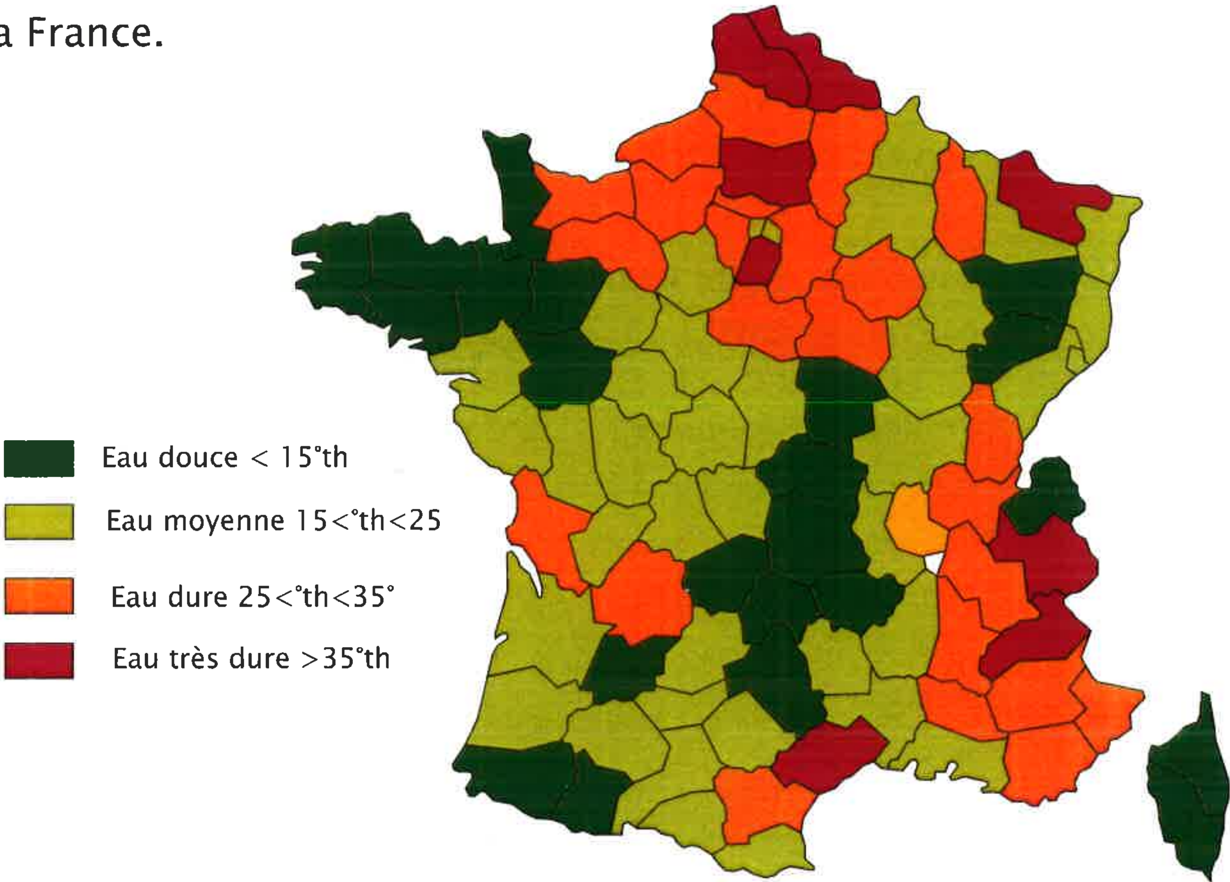


Diagramme T °C log. P pour le mélange Eau-Ammoniac (d'après Bosnjakovic et Wucherer)

Notes personnelles

Le traitement d'eau.

Carte hydrotimétrique de la France.



Résultats d'une analyse d'eau

	pH	TH °f	TA °f	TAC °f	Cl– °f	Fer mg/l	Cond. µs/cm	Prod.* mg/l
Appoint	7,8	30	0	24,2	6,1	< 0,1	600	Non
Tour	8,3	50	0	48,4	12,2	< 0,1	1200	Oui
Recommandations constructeurs	6,5 à 9	50 maxi	—	50 maxi	17,6 à 35,2	< 0,2	< 1600	—

* réactif

L'eau et ses composants.

L'eau est omniprésente dans les circuits frigorifiques. Utilisée dans des circuits fermés ou ouverts, pure ou en mélange, elle est une bonne substance pour le transfert d'énergie, alors on comprend l'intérêt d'un traitement d'eau et l'importance de son suivi.

Dans le traitement d'eau il y a 2 aspects :

- ≈ un premier qui concourt au maintien en bon état des circuits, performances et pérennité,
- ≈ un second imposé par la législation, qui concerne le traitement contre la légionelle.

L'eau qui provient de la pluie, de la grêle ou de la neige s'infiltre dans les sols. Suivant la nature des terrains ou des roches, cette eau dissout des sels minéraux. Le sous-sol traversé influence la composition de l'eau.

- ≈ la Touraine, constituée de roches calcaires tendres, engendre une eau chargée en sels minéraux,
- ≈ la Bretagne, constituée de roches granitiques dures, engendre une eau très peu chargée en sels minéraux.

Les constituants minéraux sont : le bicarbonate, le sulfate, le chlorure, le silicate, le sodium, le potassium, le calcium et le magnésium.

Termes utilisés dans un bulletin d'analyse d'eau.

L'unité. L'unité qui permet de quantifier les concentrations en sels dissous est le degré français, abréviation : °f

Des tableaux répertorient les sels dissous en mg/l et donnent la valeur en degré français. Exemple : un degré français correspond à:

- ↳ 10 mg/l de carbonate de calcium par litre d'eau (CO3Ca) ou 8, 4 mg/l de carbonate de magnésium (CO3 Mg), etc.

Le pH. Le pH représente l'acidité effective de l'eau. C'est un nombre de 0 à 14, sans unité, mais dont l'échelle est logarithmique.

Le pH indique les tendances de l'eau : lorsqu'il baisse, l'eau est agressive, lorsqu'il augmente, elle est entartrante.

Le TH, titre hydrotimétrique ou dureté totale, c'est la teneur en sels incrustants tels les sels de calcium et de magnésium.

La nouvelle unité définie par la norme NF EN 14743 est la millimole par litre, mmol/l. Une millimole par litre de CaCO3 correspond à 10°f.

Le TH-Ca, le TH-Mg et le TAC sont les teneurs qu'il faut particulièrement surveiller pour éviter l'entartage.

Le TH-Ca : la teneur en sels de calcium, le TH-Mg : la teneur en sels de magnésium. TH = TH Ca + TH Mg (unité : °f).
Le TA et le TAC sont les titres alcalimétriques (unité : °f).

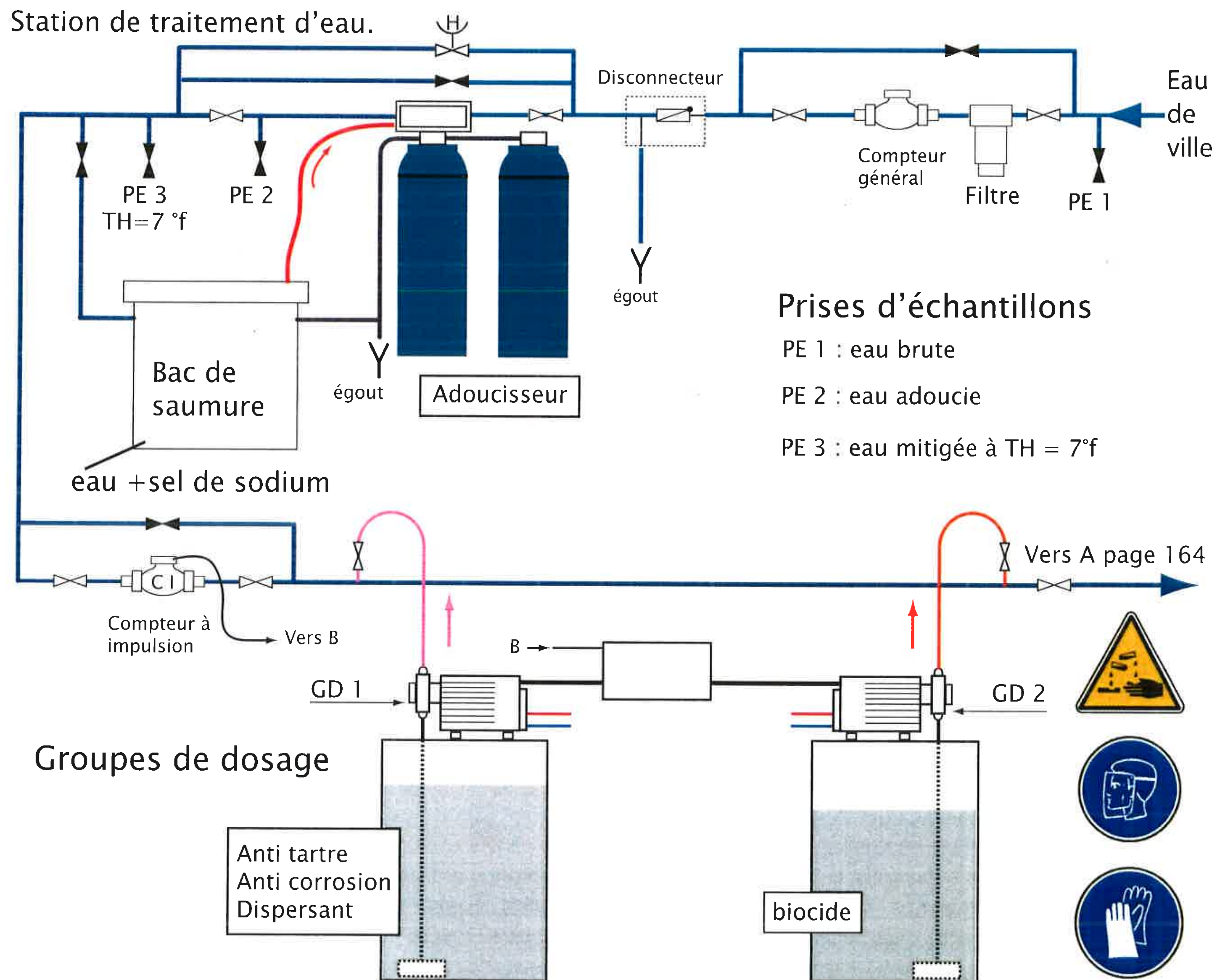
Le TA exprime la teneur en carbonate et le TAC exprime la teneur en bicarbonate et en carbonate.

La teneur en chlorures renseigne sur la concentration du circuit, une information importante pour nos installations (unité : °f).

Les chlorures. Ils sont quantifiés seuls car ils servent de témoins à la concentration. (Unités : °f ou mg/l).

La *résistivité* R et la *conductivité* C sont définies page 165 avec le sujet qui traite des déconcentrations.

* réactif



Station de traitement d'eau.
H
Disconnecteur
Eau
de
ville
PE 3
TH=7 °f
PE 2
Compteur
général
Filtre
PE 1
égout
égout
Bac de
saumure
Adoucisseur
Prises d'échantillons
PE 1 : eau brute
PE 2 : eau adoucie
PE 3 : eau mitigée à TH = 7°f
eau +sel de sodium
Vers A page 164
C I
Compteur à
impulsion
Vers B
B
GD 1
GD 2
Groupes de dosage
Anti tartre
Anti corrosion
Dispersant
biocide

Station de traitement d'eau d'une installation frigorifique.

La composition d'une station de traitement dépend des caractéristiques de l'eau, qui seront définies par l'analyse chimique.

L'adoucisseur. Son installation dépend du TH de l'eau. Pour un TH de 20°f, il est conseillé, mais pour un TH de 30°f, il est indispensable.
Il contient de la résine constituée de billes de matière plastique spéciale. Ces billes sont "poreuses", au début du cycle, elles contiennent du sodium. L'eau à traiter libère le calcium et le magnésium qui prennent la place du sodium expulsé dans l'eau traitée.
Lorsque la résine est totalement chargée de calcium et de magnésium, l'adoucisseur n'est plus efficace, il faut alors régénérer la résine.
Le programmateur enclenche une régénération qui consiste à :

- ≈ permuter sur l'adoucisseur régénéré,
- ≈ puiser dans le bac à sel de la saumure, qui se fixe sur la résine en chassant le calcium et le magnésium,
- ≈ rejeter à l'égout les sels de calcium et de magnésium qui sont délogés de la résine,
- ≈ arrêter la régénération après le temps programmé.

Groupe de dosage, GD1, assure le traitement de protection qui répond à 3 critères :

- ➢ supprimer l'entartrage, limiter la corrosion, disperser les micro-organismes qui donnent naissance aux algues.

Groupe de dosage, GD 2, assure l'injection de produits biocides pour éviter la prolifération des légionelles.

Consommation d'eau des tours de refroidissement et des condenseurs évaporatifs.

Dans ce type de matériel, c'est l'évaporation partielle de l'eau qui absorbe l'énergie des circuits de condensation.

Chaleur latente de vaporisation de l'eau : 2430kj/kg.

Débit d'eau évaporée pour une puissance de réjection de 200kw : E= $\frac{200}{2340}$=0,0854kg/s soit 307,69 kg/h. ≅ 308 l/h.

Pour éviter la concentration excessive en sels minéraux, il faut déconcentrer cette eau par une purge. (Pages 164 et165).
La concentration admissible est fonction de la salinité de l'eau d'appoint. Cette concentration, appelée "N", est fonction du TH et du TAC.

Formule de calcul de la purge : P=$\frac{E}{N-1}$.

Deux exemples de purges en fonction de la dureté de l'eau :

- ≈ région A, TAC 5°f, la valeur "N" est égale à 5. La purge doit être de : $\frac{308}{5-1}$=77 l/h. La consommation totale : 308+77 =385 l/h,
- ≈ région B, TAC 35°f, la valeur "N" est égale à 2. La purge doit être de : $\frac{308}{2-1}$=308 l/h. La consommation totale est de 616 l/h.

La déconcentration automatique.

F.F.
F.F.
Electrode de mesure ou sonde
S
Dispositif 1
Dispositif 2
Conductivimètre
A (page 162)



Illustrations d'un manque de traitement et de déconcentration.





Concentration et déconcentration de l'eau.

Lors de l'évaporation de l'eau, les sels dissous se concentrent dans le bac, très rapidement ces sels dissous précipitent et apparaissent sous formes de sels qui entartrent les réseaux. Le moyen pour limiter la présence de sels dans le réseau est de retirer une partie de l'eau contenue dans le bac, ce qui provoque l'arrivée d'eau non concentrée par le robinet à flotteur. Deux valeurs nous permettent d'apprécier le niveau de concentration des installations, c'est la résistivité et son contraire la conductivité.

La résistivité R : elle exprime la résistance de l'eau au passage du courant électrique. La résistivité dépend directement de la concentration en sels minéraux. (Unité Ω/m, unité usuelle Ω/cm).

La conductivité C : La conductivité c'est l'inverse de la résistivité, $C=\frac{1}{R}$, elle exprime donc la facilité qu'offre une eau au passage du courant. (Unité : µS/m - unité usuelle µS/cm- S= siemens). L'eau potable se situe entre 200 et 1000 µS/cm.

Trois procédés sont utilisés :

≈ *la déconcentration manuelle.*

Une vanne (H), en pointillé sur le dispositif 1, est réglée pour évacuer en permanence de l'eau concentrée.

Ce dispositif ne prend pas en compte l'appoint d'eau dans la tour, il y a donc une surconsommation d'eau lorsque la tour n'est pas à sa puissance maximum,

≈ *la déconcentration proportionnelle au débit d'appoint ou déconcentration volumétrique (dispositif 1).*

Un compteur d'eau transmet des impulsions à un régulateur de déconcentration qui comptabilise les volumes d'eau d'appoint. Le volume d'eau programmé met sous tension l'électrovanne de purge, pendant un temps déterminé,

≈ *la déconcentration par contrôle de la conductivité de l'eau (dispositif 2).*

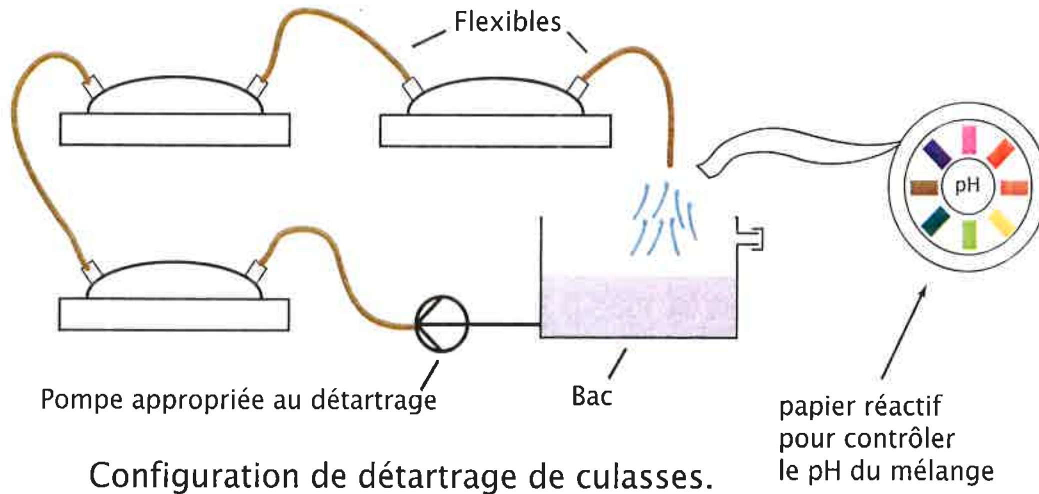
Une électrode de mesure ou sonde est placée dans le flux d'eau au refoulement de la pompe. Avec la concentration en sels minéraux, la conductivité de l'eau augmente ce qui a pour effet d'alimenter l'électrovanne, l'eau ainsi rejetée à l'égout sera remplacée par de l'eau non concentrée.

Quelle que soit la qualité de l'eau, il est important de mettre l'installation en service avec un système de déconcentration.

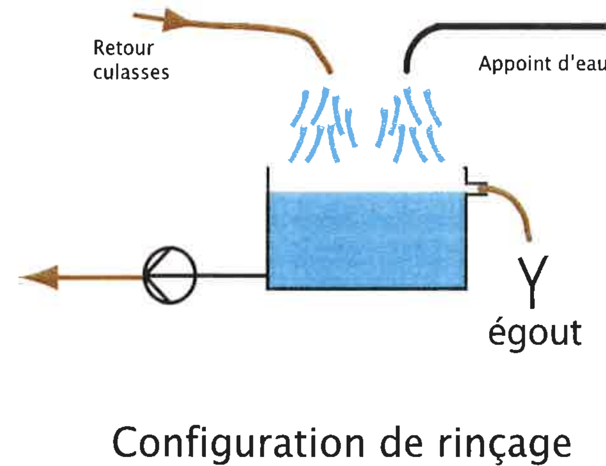
Le TH-Ca, le TH-Mg et le TAC sont les teneurs qu'il faut particulièrement surveiller pour éviter l'entartrage.

Le détartrage

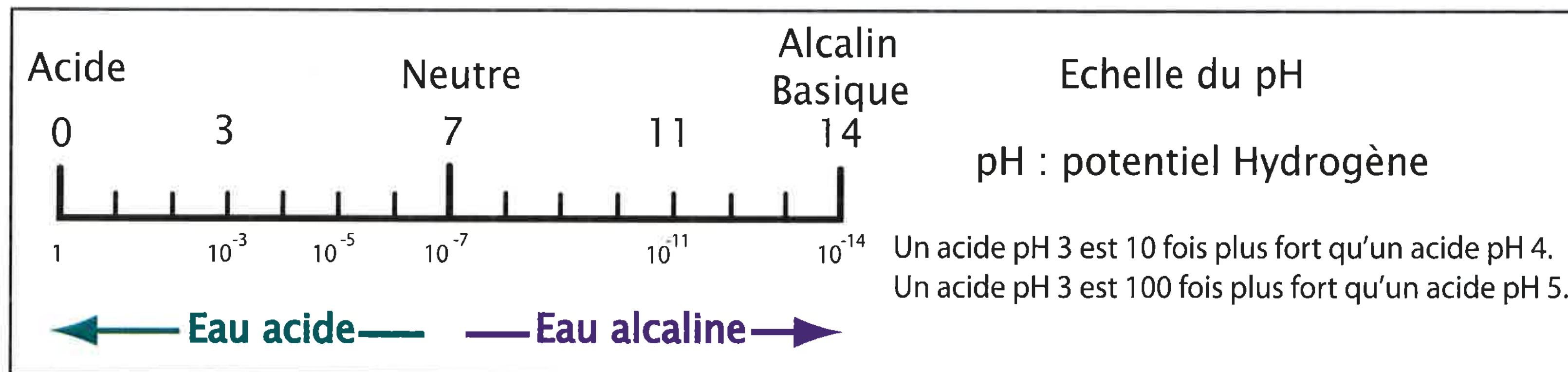




Configuration de détartrage de culasses.



Configuration de rinçage



Le détartrage.

L'absence de traitement ou sa défaillance fixe les sels minéraux sous forme de tartre qui limite les échanges thermiques ou réduit les sections de passage. Pour rétablir les bonnes conditions, nous sommes donc conduits à procéder à une opération de détartrage.

Ce détartrage peut concerner : des échangeurs, des circuits, des culasses, etc.

Cette opération ponctuelle doit être effectuée en prenant des précautions pour :

≈ les intervenants.
Les produits détartrants sont fabriqués à base d'acide chlorhydrique, ce qui en fait des produits particulièrement dangereux.
Le port de protections individuelles est indispensable (Gants, lunettes et bottes en caoutchouc).

≈ le matériel à détartrer.
Certes, ces produits contiennent des inhibiteurs de corrosion, mais ils doivent être adaptés aux matériaux détartrés.

<u>Mise en garde.</u>

Pour assurer leur protection, certains échangeurs sont galvanisés, ce revêtement de zinc craint les acides.
Il est important de ne pas mettre en contact les produits détartrants avec ce revêtement.

A noter que le zinc est également sensible au pH > à 9, il est donc exposé en cas de fuite d'ammoniac (pH=11,5).

<u>Mise en œuvre.</u> Elle nécessite :

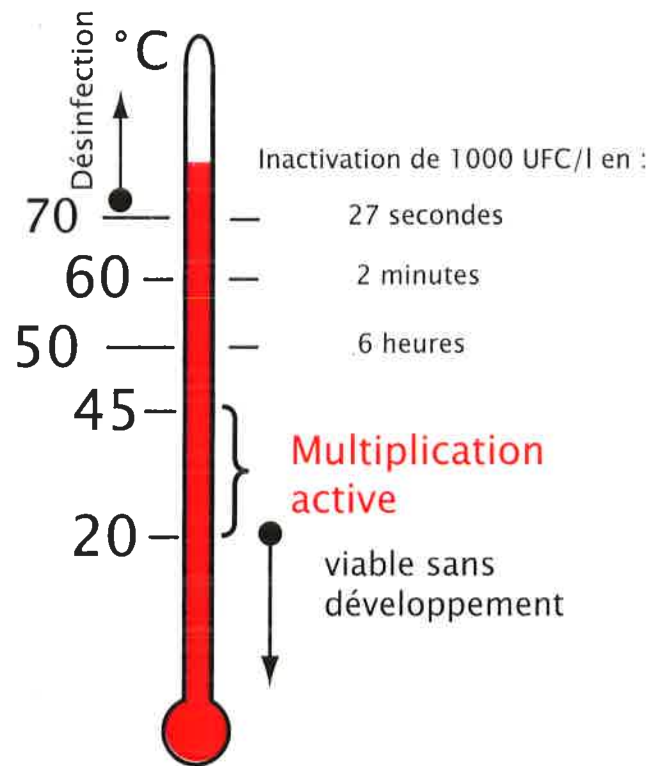
≈ des moyens de protection individuelle,
≈ du matériel adapté (bac, pompe, flexibles),
≈ du papier réactif ou un pH-mètre.

Le détartrage est plus efficace lorsque la solution est chauffée entre 30 et 50°C. Suivant l'état, prévoir de 7 à 8 heures pour un détartrage.

Après la mise en place du matériel, il faut :

≈ contrôler l'étanchéité de l'ensemble en faisant circuler de l'eau pure,
≈ verser le produit détartrant, 5 à 10 %, en prenant toutes les précautions de manipulation d'un produit extrêmement dangereux,
≈ ajouter le produit pour atteindre le pH de 1,5 à 2. Le passage de ce mélange dissout les sels adhérents aux parois, progressivement le pH remonte car le tartre neutralise la solution. Pour être efficace, le pH doit rester bas, il faut donc ajouter du produit acide pour continuer le détartrage,
≈ rejeter une eau trop acide dans les égouts est interdit. La solution doit être neutralisée soit avec une base, soit en laissant la pompe en service jusqu'à obtention d'un pH de 6. Cette dernière solution est bien entendu plus longue,
≈ rincer abondamment et à contre-courant le circuit avec la pompe, en ajoutant doucement de l'eau claire jusqu'au débordement,
≈ éviter de laisser à l'air libre les pièces récemment détartrées.

Les légionelles et les protections.



Influence de la température sur l'évolution des légionelles.

Nota : les TAR et les condenseurs évaporatifs fonctionnent à des températures entre 25 et 35 °C.



Masques à disposition des intervenants.



Apposer ce pictogramme sur les trappes d'accès.

Protections à adopter pour les interventions sur les TAR ou les condenseurs évaporatifs.

	1/2 masque FFP3D	lunettes	gants en nitrile	Masque à cartouche type B2P3	Combinaison légère étanche.	Bottes
Passage ou travail près d'une tour.	X					
Opération de faible durée. Contrôle simple. Prélèvements	X	X	X			
Travaux importants sur la tour.			X	X	X	X

La légionelle.

C'est en 1976, à l'occasion d'un congrès d'anciens du Viet-Nam qui fit 29 morts que l'on a découvert une nouvelle bactérie.
Le système de climatisation est mis en cause, la bactérie est appelée "Légionella" et la pneumonie qu'elle peut provoquer "légionellose" ou "maladie du légionnaire".

La bactérie. Elle a besoin d'oxygène, de chaleur et d'humidité pour se développer. Toutes ces conditions sont réunies dans nos tours aéroréfrigérantes (T.A.R.) et nos condenseurs évaporatifs. Bien d'autres domaines que le nôtre sont concernés : les réseaux eau chaude sanitaire, les bains à remous, les eaux thermales ainsi que les établissements de soins. C'est ce qui a conduit les autorités sanitaires à imposer une réglementation pour protéger la population.

Modes de propagation :

- ≈ par inhalation de micro-gouttelettes contaminées. Ces aérosols de taille < à 5µm pénètrent jusqu'aux alvéoles pulmonaires. Les tours de refroidissement et les condenseurs évaporatifs font partie de notre environnement professionnel.
- ≈ par ingestion ou par transmission de personne à personne, ce qui n'est pas prouvé.

Réglementation : depuis décembre 2004 les *installations de refroidissement par aspersion d'eau dans un flux d'air* sont considérées comme des "installations classées" rubrique 2921.

Deux technologies sont considérées :

- ≈ les installations avec circuit primaire fermé, c'est le cas, entre autres, des condenseurs évaporatifs. La quantité d'eau est faible et se limite au bassin. Ces appareils sont soumis aux prescriptions "déclaration" (D).
- ≈ les installations qui ne sont pas de type circuit fermé, autrement dit à circuit ouvert, qui possèdent des échangeurs éloignés de la tour. Cette situation implique des quantités d'eau et des réseaux de tuyauteries bien plus importants.

Pour cette deuxième catégorie, la prescription est fonction de la puissance thermique rejetée :

- ≈ elles sont soumises aux prescriptions "autorisation" si la puissance est ≥ à 2000kw,
- ≈ elles sont soumises aux prescriptions "déclaration" si la puissance est < à 2000kw.

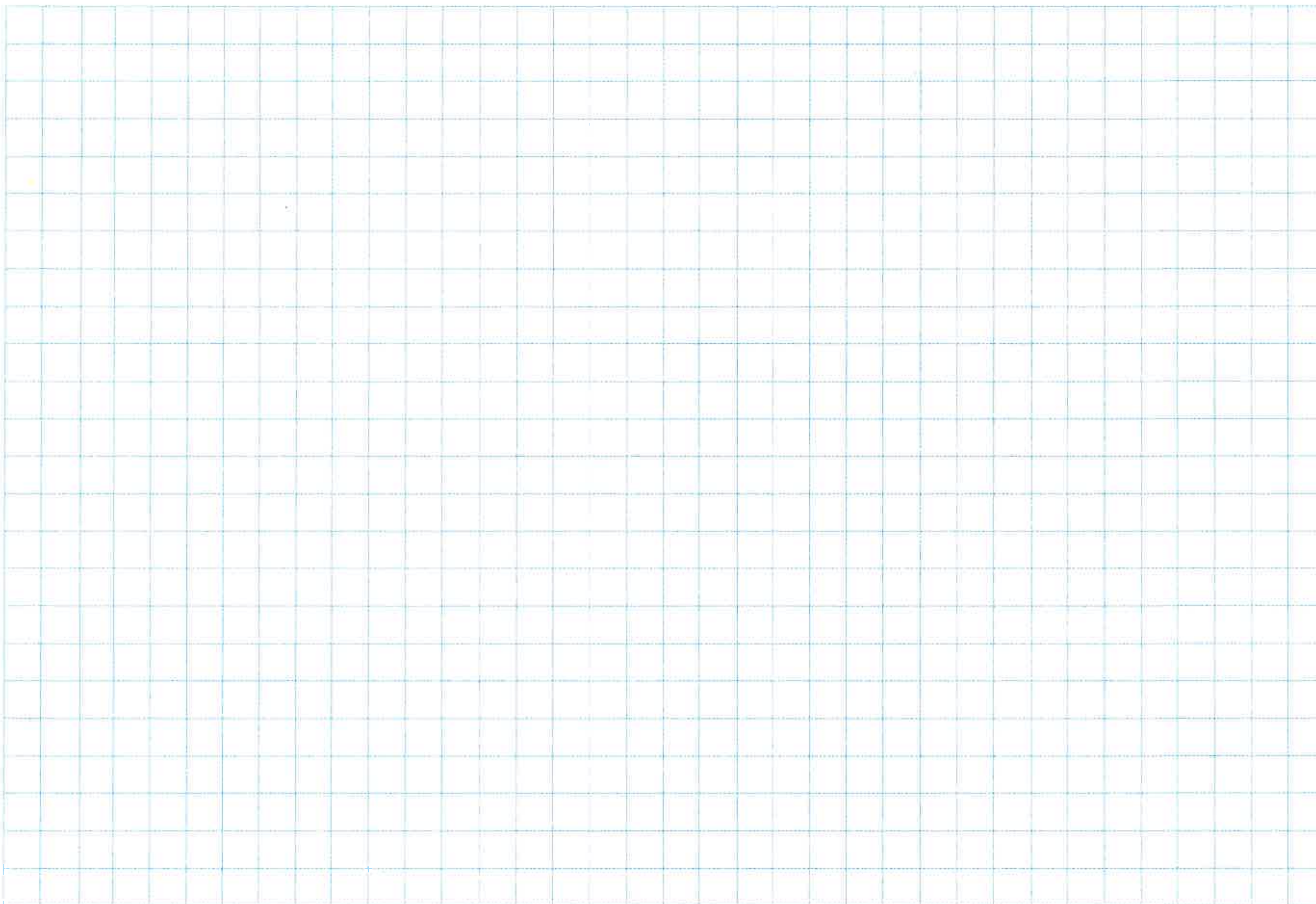
La réglementation définit :

- ≈ l'objectif : une concentration inférieure à 1000 UFC/litre*, dans l'eau du circuit,
- ≈ les moyens : le nettoyage, la désinfection et la surveillance de l'installation par l'exploitant,
- ≈ la démarche : analyses méthodiques des risques de prolifération des légionelles et les mesures préventives qui en découlent.

L'objectif à atteindre de 1000 *Unités Formant Colonie par litre (UFC/l) est contrôlé par des analyses dont la fréquence dépend de la prescription : autorisation ou déclaration.

Niveau d'alerte pour une analyse révélant ≥ 1000 UFC/l. *Niveau d'action pour une analyse révélant ≥ 100 000 UFC/l.*

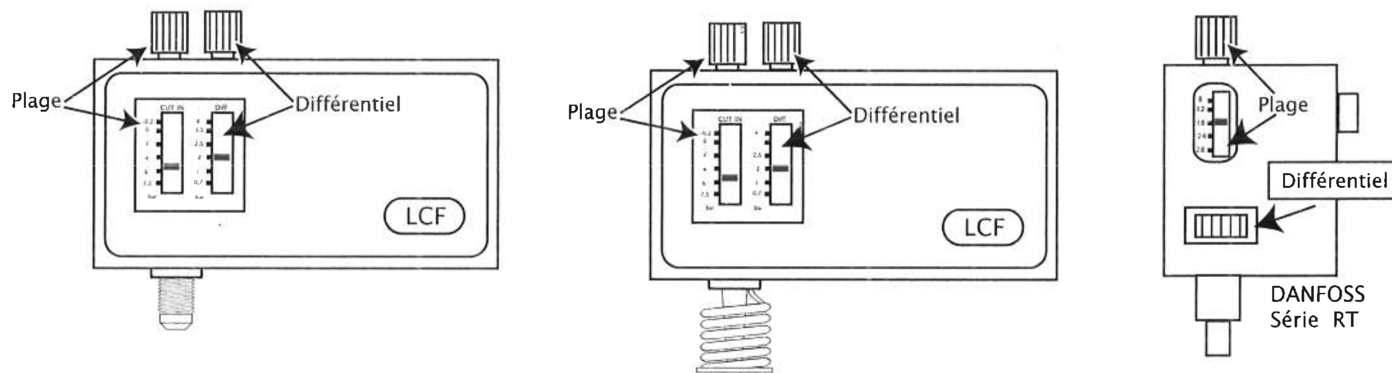
Notes personnelles.



Les instrumentations et mesures.

Les pressostats et les thermostats.

Incontournables sur les équipements frigorifiques, les pressostats et les thermostats ont diverses fonctions. Suivant son raccordement électrique et son réglage, un même appareil peut avoir des fonctions de sécurité ou de régulation.
Ces appareils possèdent généralement 2 vis de réglage, une vis qui positionne la plage, une autre qui règle la valeur du différentiel. Certains ont des différentiels fixes, d'autres sont à réarmement manuel, ils ont une fonction de sécurité qui nécessite une intervention humaine.



Recherche de la caractéristique d'un pressostat ou d'un thermostat.

La maîtrise du réglage d'un pressostat ou d'un thermostat ainsi que le temps qui lui est consacré dépendent en grande partie de la connaissance de sa caractéristique.
Le terme "enclenchement" ou "déclenchement" d'un pressostat ou d'un thermostat évoque la mise en service ou l'arrêt d'une machine, or ces appareils sont utilisés pour des actions de sécurité ou de régulation.
Pour plus de clarté, nous emploierons les termes : CEH et CEB qui sont explicités page de gauche.

Pressostat ou thermostat dénommé "à départ constant" :

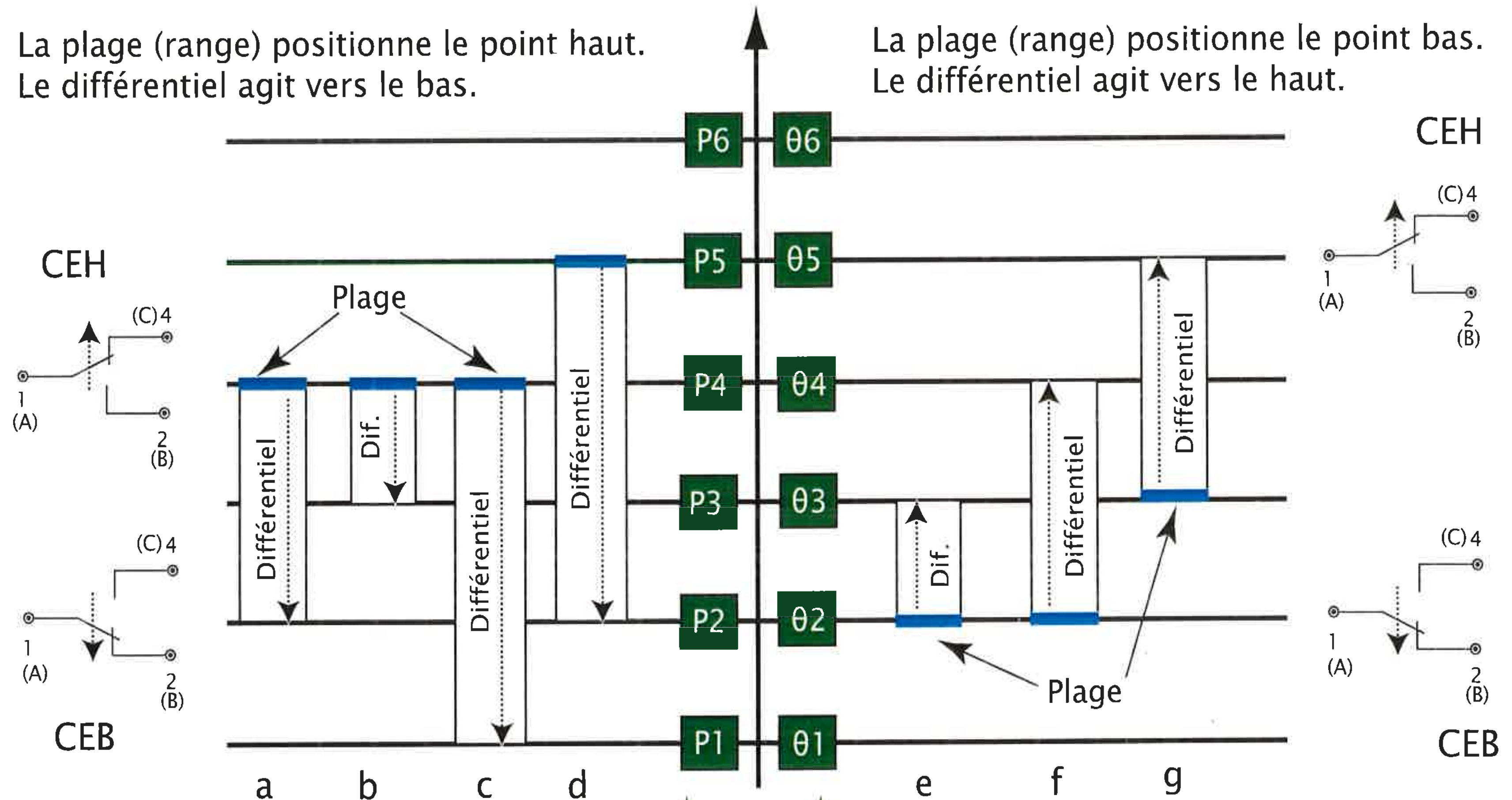
* exemple a : la plage est positionnée à 4 bar, le différentiel choisi est de 2 bar, le CEB se fait à 4-2 = 2 bar,
* exemple b : le différentiel est réduit à 1 bar, le CEB se fait à 3 bar. La plage n'est pas modifiée, le CEH reste à 4 bar,
* exemple c : par l'augmentation du différentiel, on obtient le CEB à 1 bar, tandis que le CEH reste inchangé,
* exemple d : la modification de la plage entraîne une transformation du CEH ainsi que la modification du CEB.
  Les 2 points translatent simultanément. Le résultat est le suivant : CEH à 5 bar et CEB à 2 bar.

Pressostat ou thermostat dénommé "à coupure constante" :

* exemple e : la plage est réglée à 2°C, c'est le CEB, avec un différentiel de 1 °C, le CEH se trouve à 3°C,
* exemple f : l'augmentation du différentiel modifie le CEH qui passe de 3 à 4°C sans modifier le CEB qui reste à 2°C,
* exemple g : la modification de la plage entraîne le déplacement du CEB ainsi que le CEH.
  Les 2 points translatent simultanément. Le nouveau réglage est donc un CEB à 3 °C et un CEH à 5°C.

En présence d'un nouveau modèle, il souhaitable de procéder à des essais pour déterminer sa "caractéristique".

Recherche de la caractéristique d'un pressostat ou d'un thermostat.



Termes utilisés pour identifier la caractéristique d'un tel pressostat ou thermostat :

- ⇨ départ constant,
- ⇨ actionnement haut,
- ⇨ point fixe haut.

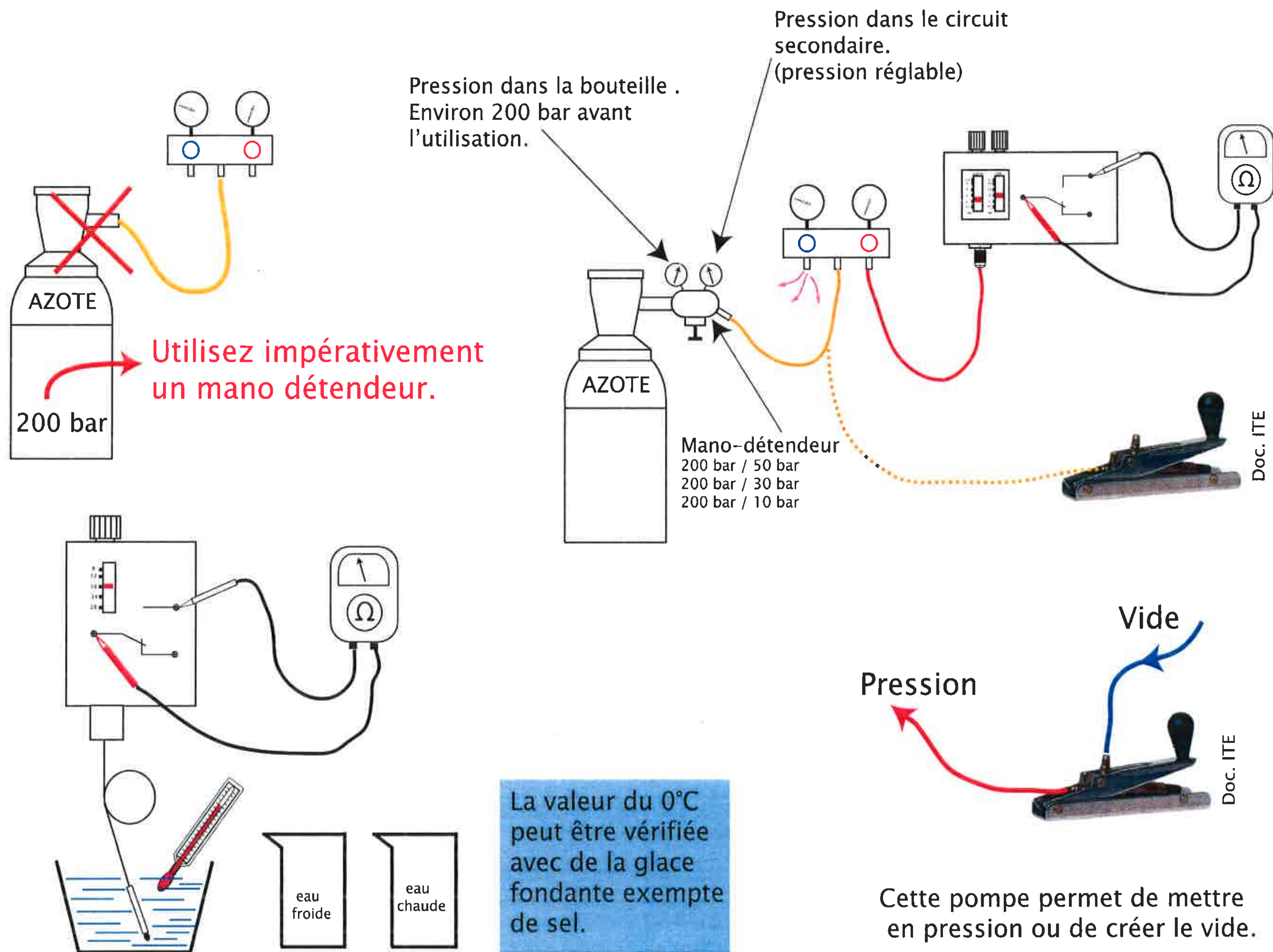
ou

Termes utilisés pour identifier la caractéristique d'un tel pressostat ou thermostat :

- ⇨ coupure constante,
- ⇨ actionnement bas,
- ⇨ point fixe bas.

CEH : changement d'état des contacts lorsque la pression ou la température augmente.
CEB : changement d'état des contacts lorsque la pression ou la température diminue.
Les repères près des contacts sont les indications utilisées par les constructeurs.

Simulations des pressions et des températures.

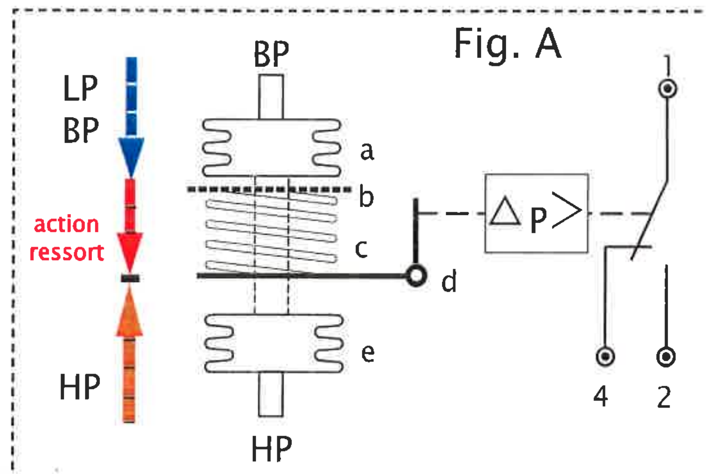


Cette pompe permet de mettre en pression ou de créer le vide.

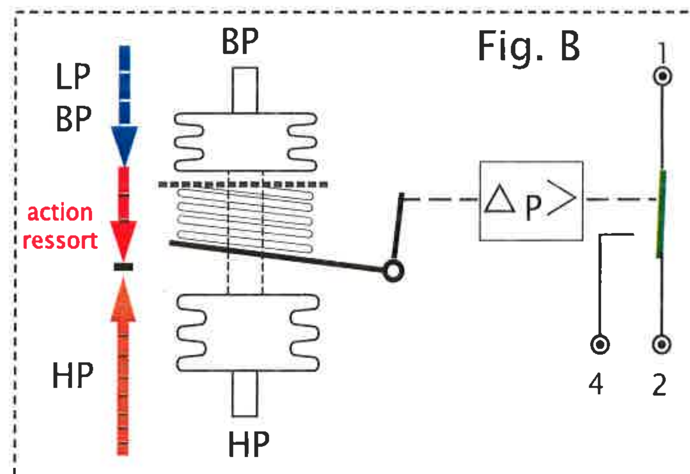
Caractéristiques des pressostats et des thermostats

Marques	Types	Caractéristiques
Danfoss	Série KP	Départ constant-actionnement haut.
Danfoss	Série RT	Coupure constante-actionnement bas.
Danfoss	Série RT : RT 1 et RT 5 zone neutre	Départ constant-actionnement haut.
Georgin		Coupure constante-actionnement bas.
Johnson Controls	P 77 - P 78	Départ constant-actionnement haut.
Johnson Controls	P77 BCA	Coupure constante-actionnement bas.
Alco Controls	P S1 P S 2	Départ constant-actionnement haut.
Complétez ce tableau suivant vos expériences.		

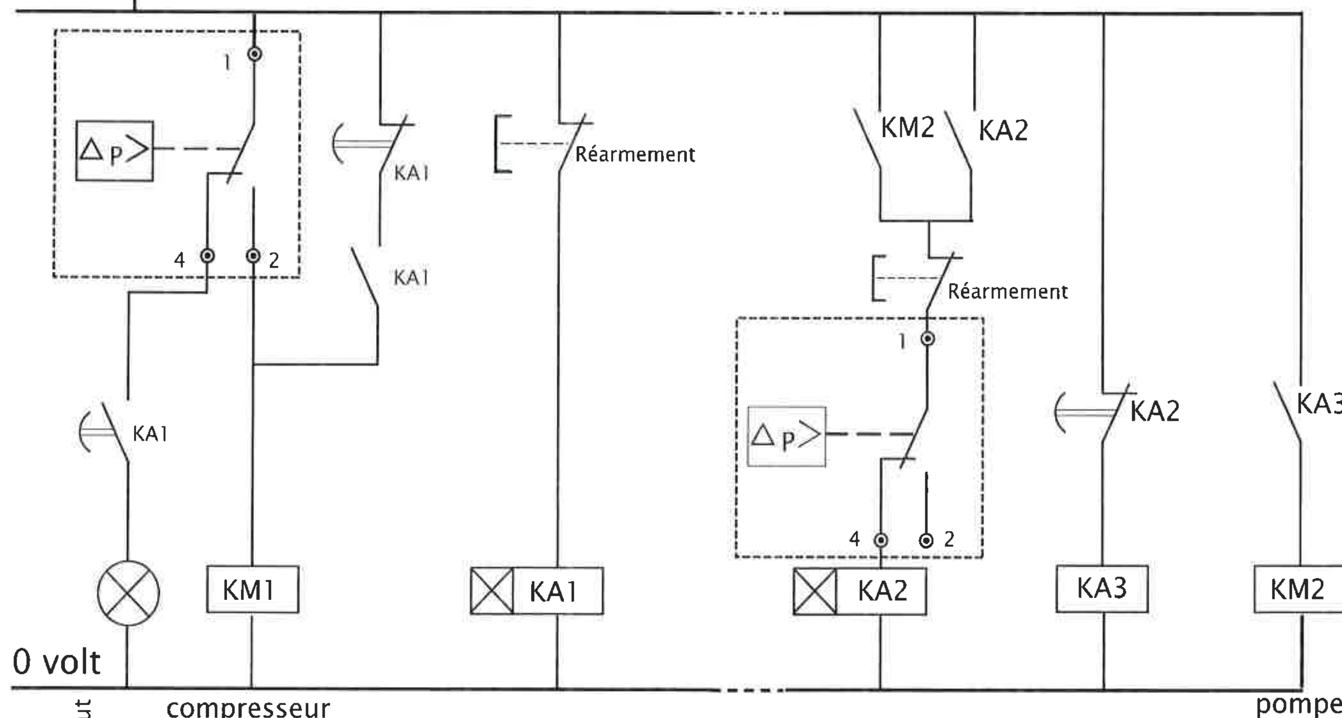
Doc. ITE

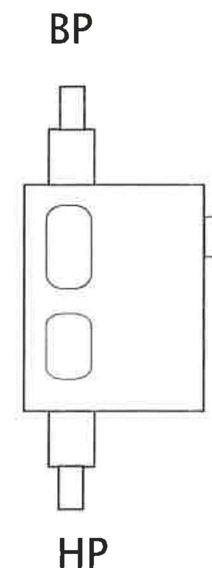


Installation à l'arrêt ou en situation de défaut.



Situation correcte.





Protection lubrification compresseur

Détection cavitation pompe fluide frigorigène

La
Pou
Le
Le
Il s
lor
lor
Fo
Co
Sur
L'in
Sur
le
La
A l'
l'in
Ce

La pression différentielle est la différence de pression existante entre deux points de mesure. Elle est dénommée : ΔP (Delta P).
Pour certaines zones de nos circuits, ce ΔP revêt parfois une telle importance qu'il est nécessaire d'en vérifier la valeur en permanence.
Le dispositif le plus souvent utilisé est le pressostat différentiel.

Le pressostat différentiel.

Il sert à détecter des différences de pression et intervient dans les chaines de sécurité :

lorsque la pression différentielle augmente

- entre l'amont et l'aval d'un filtre ou d'un échangeur, conséquence de colmatage,
- entre l'entrée et la sortie d'air d'un évaporateur, conséquence du givre.

lorsque la pression différentielle diminue

- lors d'un défaut de lubrification d'un compresseur à pistons ou à vis,
- lors d'une cavitation de pompe.

Fonctionnement commun aux pressostats différentiels

Constitution des pressostats différentiels :

- Un soufflet e, soumis à la pression la plus élevée,
- un soufflet a, soumis à la pression la plus basse,
- un ressort c, qui détermine la différence de pression entre l'amont et l'aval du dispositif dont on souhaite contrôler le ΔP.

La longueur des segments sur les flèches indique l'intensité des forces.

Sur la Fig. A, les pressions BP et HP sont équilibrées, c'est l'action du ressort qui repousse la biellette d.
L'installation est à l'arrêt ou en situation de défaut.

Sur la Fig. B, la pression HP est supérieure à la somme des 2 forces, BP et action du ressort, la biellette d appuie sur le contact électrique, le ΔP souhaité est atteint, voire dépassé.

La tension du ressort détermine le différentiel souhaité, le réglage se réalise avec la molette b.

L'accroissement de la tension du ressort augmente la valeur du différentiel souhaité.

A l'arrêt, le pressostat différentiel est en situation de défaut, il est donc nécessaire de trouver un subterfuge pour obtenir le démarrage de l'installation.
Ceci est obtenu en incluant un relais temporisé dans la chaine d'automatisme (KA1ou KA2).

Les deux exemples de la page de gauche protègent les systèmes lorsque la pression différentielle décroît.

- pour les valeurs de réglage, se reporter à la page 245,
- pour la procédure de réglage, se reporter à la page 174.

BP

a

b

c

d

e

action ressort

PH

T2/2

repères Danfoss/repères Johnson Controls

T2/2

1

ΔP >

4

T° >

2

3

230V

115V

R

L

5

7

6

M

S/A

Partie du circuit impérativement en 115volts ou 230volts

Circuit de commande du compresseur. Tension indifférente.

Réglages

P atmosphérique

AZOTE

Doc. ITE

Montage

BP

LP

OIL

Pressostat différentiel équipé d'une temporisation intégrée.

Le principe de fonctionnement est énoncé précédemment : *fonctionnement commun aux pressostats différentiels.*

Principalement employés pour le contrôle de la lubrification des compresseurs à pistons, ils possèdent des temporisations intégrées

Les temporisations permettent le contrôle du démarrage ainsi que l'arrêt en cas de diminution de la pression d'huile.

Les temporisations ne sont pas réglables, les constructeurs proposent des valeurs de 45 à 120 secondes.

La molette b permet de régler le différentiel minimum imposé par le constructeur du compresseur.

Vous trouverez cette valeur ainsi que la pression de réglage de la pression d'huile sur la documentation technique du compresseur.

D'autres pressostats ont des différentiels fixes, vérifiez que le différentiel correspond bien aux attentes du constructeur.

Description:

- a : soufflet raccordé à la pression du carter, c'est la pression d'aspiration de la pompe (BP),
- b : molette de réglage du différentiel, elle tend ou détend le ressort,
- c : ressort de réglage,
- d : liaison mécanique entre les soufflets et le contact électrique (biellette),
- e : soufflet raccordé au refoulement de la pompe à huile,

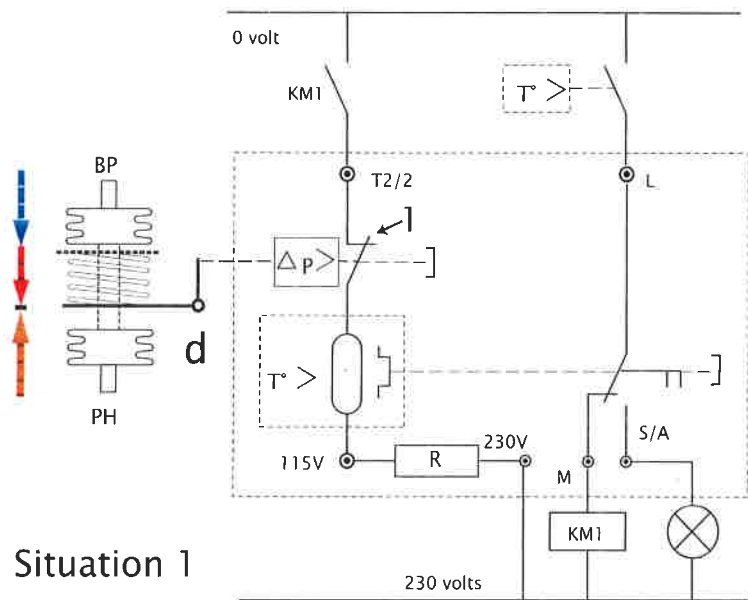
- 1 : contact commandé par la biellette d soumise à la différence des pressions,
- 2 : système de type "bilame" transmettant son mouvement au contact 5 lors d'une augmentation de sa température,
- 3 : résistance pour abaisser la tension de 230 volts à 115 volts,
- 4 : dispositif pour tester une partie du circuit électrique, voir page suivante,
- 5 : contact de commande du compresseur,
- 6 : bouton poussoir de réarmement, voir page suivante,
- 7 : système à accrochage pour mémoriser le défaut.

Nota : sous la même présentation, certains pressostats ne sont pas équipés du bloc de temporisation, ils ne possèdent que le contact d ils s'apparentent alors au pressostat étudié aux pages 176 et 177.

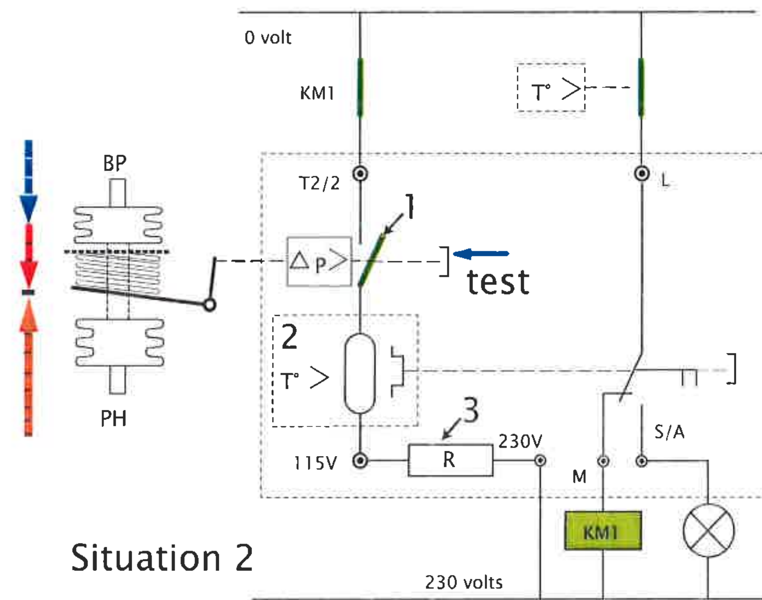
Méthode de réglage :

Prendre connaissance de la valeur imposée par le constructeur. Utiliser une bouteille d'azote ou une pompe pour mettre en pression le soufflet e qui reçoit la pression d'huile. A l'aide d'un ohmètre, vérifier le changement d'état du contact à pression décroissante.
Il n'est pas nécessaire de raccorder le soufflet supérieur à une quelconque pression. Par essais successifs vous atteindrez la bonne valeur.

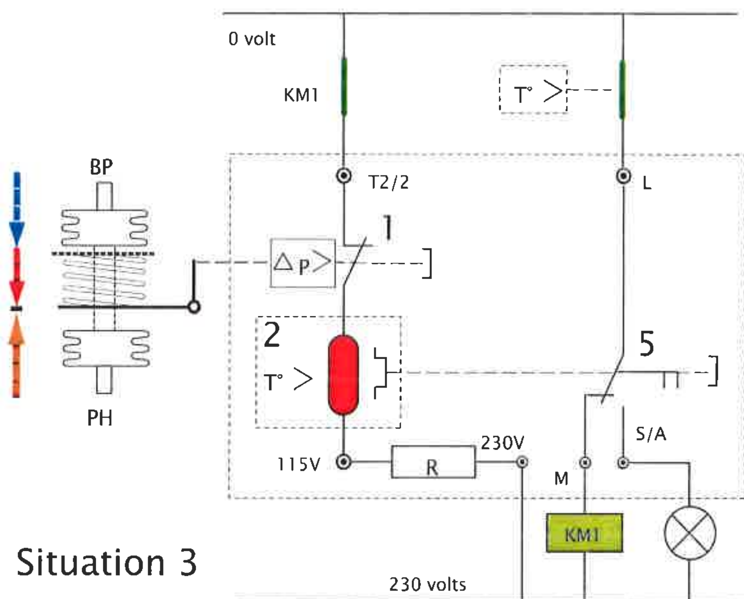
Pressostat différentiel équipé d'une temporisation intégrée.



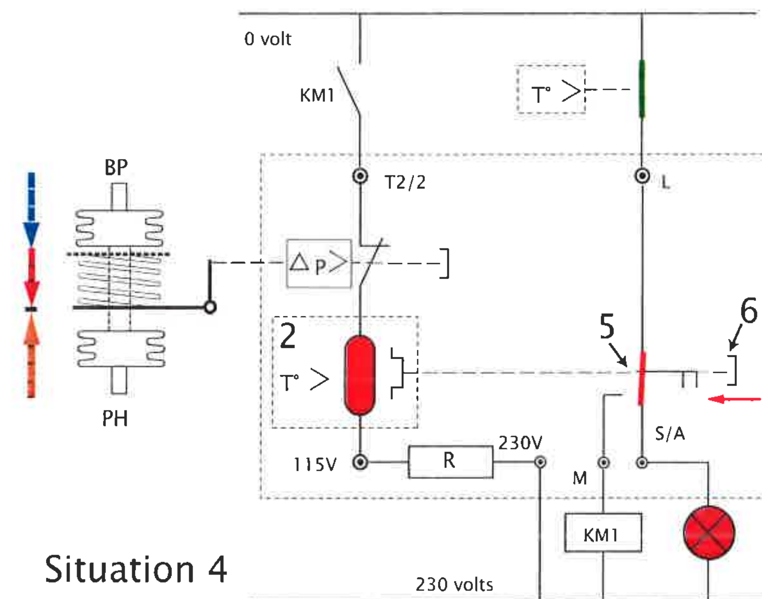
Situation 1



Situation 2



Situation 3



Situation 4

Pressostat différentiel équipé d'une temporisation intégrée.

Les 4 situations d'un pressostat équipé d'une temporisation de 60 secondes (temps affiché sur le côté du mécanisme).

Situation 1 :

Il n'y a pas de demande de froid, le compresseur est à l'arrêt.
Les pressions BP et d'huile sont équilibrées, c'est la force du ressort qui est prédominante.
La biellette d n'exerce pas de pression sur le contact 1.

Situation 2 :

Le compresseur fonctionne, la pression d'huile est supérieure à la somme : BP+ la pression du ressort. Le contact 1 est ouvert.
La situation est normale.

TEST : c'est dans cette situation que le dispositif de "test" peut être utilisé. Alors que la pression est correcte, un appui sur ce dispositif referme le contact 1, ce qui provoque la mise sous tension du bilame 2. Après le temps de temporisation, le compresseur doit s'arrêter en sécurité. Ce test vérifie le circuit électrique entre TE/2 et 230 V, donc l'état de la résistance 3 et le bilame 2.
La fiabilité du système dépend de leur état.

Situation 3 :

Depuis 30 secondes, le différentiel de pression est insuffisant, le contact 1 est fermé, le bilame 2 chauffe.
Le compresseur est toujours en service.
Dans 30 secondes, le bilame repoussera le contact 5, arrêtant ainsi le compresseur.

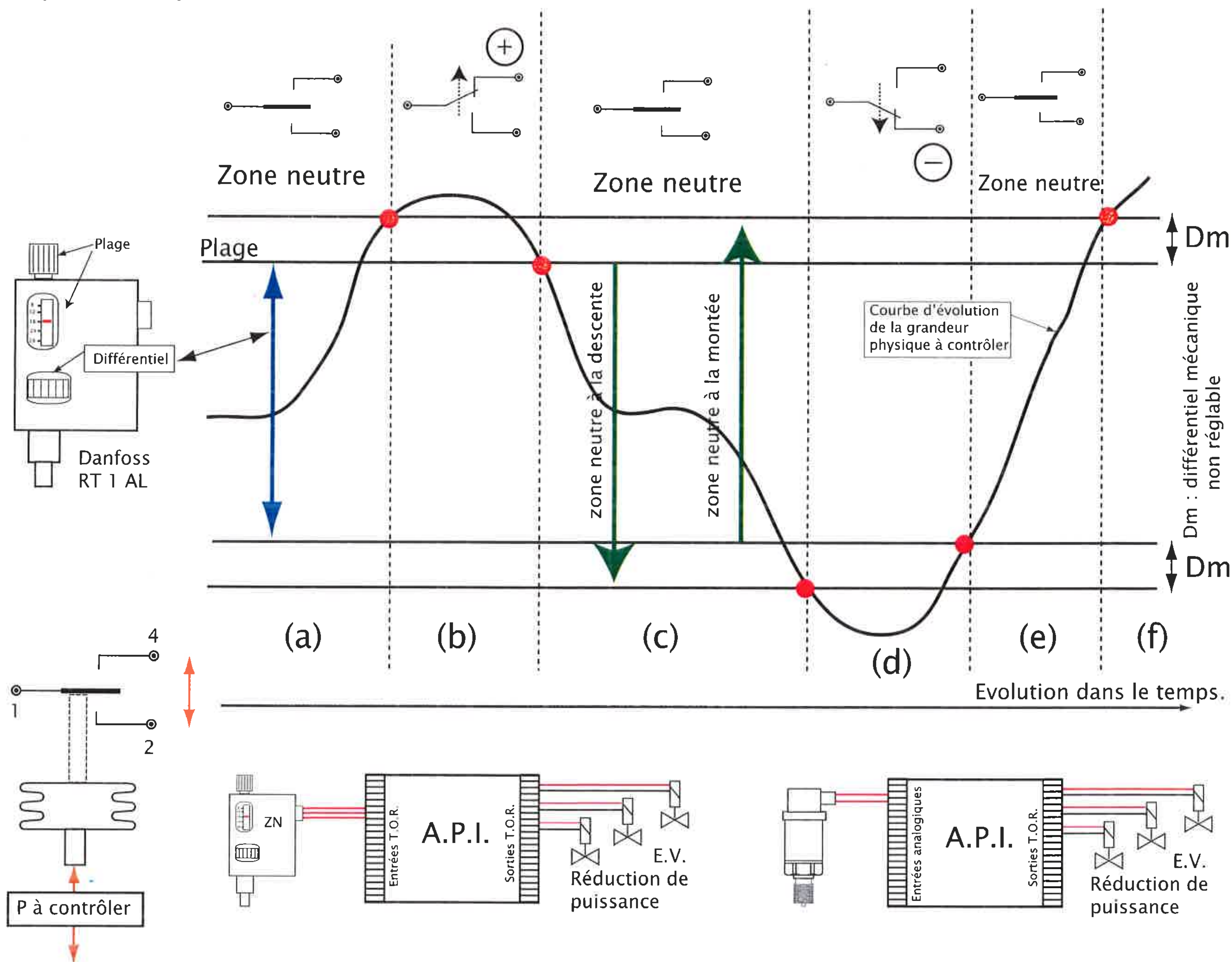
Situation 4 :

Le manque de pression d'huile a excédé 60 secondes, le contact 5 a changé d'état, le compresseur s'arrête, le voyant rouge est sous tension.

Le réarmement, à l'aide du bouton poussoir 6, ne sera possible que lorsque le bilame 2 sera refroidi.
A l'arrêt du compresseur, le contact auxiliaire KM1s'est ouvert, interrompant l'alimentation du bilame.

Nota : lors d'essais "à blanc" ne pas oublier de couper l'alimentation en T2/2 pour éviter une coupure due à l'absence de ΔP.

Régulation par zone neutre.



Pressostats et thermostats à zone neutre.

Pour maintenir les paramètres de fonctionnement au plus près des valeurs du cahier des charges, il faut adapter les puissances des divers composants d'une installation frigorifique.

Les charges thermiques d'une installation fluctuent tout au long d'une journée, ce qui a pour effet de faire varier la BP. Corriger cette dérive est possible en adaptant le débit volume aspiré par les compresseurs aux nécessités du moment. Il faut alors augmenter ou diminuer le nombre de compresseurs ou de cylindres en service à l'aide d'électrovannes.

Les conditions climatiques et les charges thermiques de l'installation peuvent générer des pressions de refoulement problématiques.
La mise en service ou l'arrêt des ventilateurs est le moyen le plus simple pour adapter le débit d'air des condenseurs aux circonstances.

Une des solutions est l'usage de cascades pressostatiques ou thermostatiques, mais les réglages sont parfois longs et fastidieux.
Ces cascades peuvent être remplacées par des dispositifs à zone neutre.

Principes de fonctionnement d'un pressostat à zone neutre.

Les pressostats ou thermostats habituels fonctionnent en tout ou rien (T.O.R.), les contacts ne disposent que de 2 positions.
Par contre, les contacts des dispositifs à zone neutre ont 3 positions : une connexion haute, une connexion basse et une position oscillante entre les 2 positions. Le contact dans cette zone intermédiaire est dit flottant ou en zone neutre, il ne donne aucune information au dispositif.

Collecte des informations transmises par les contacts du pressostat.

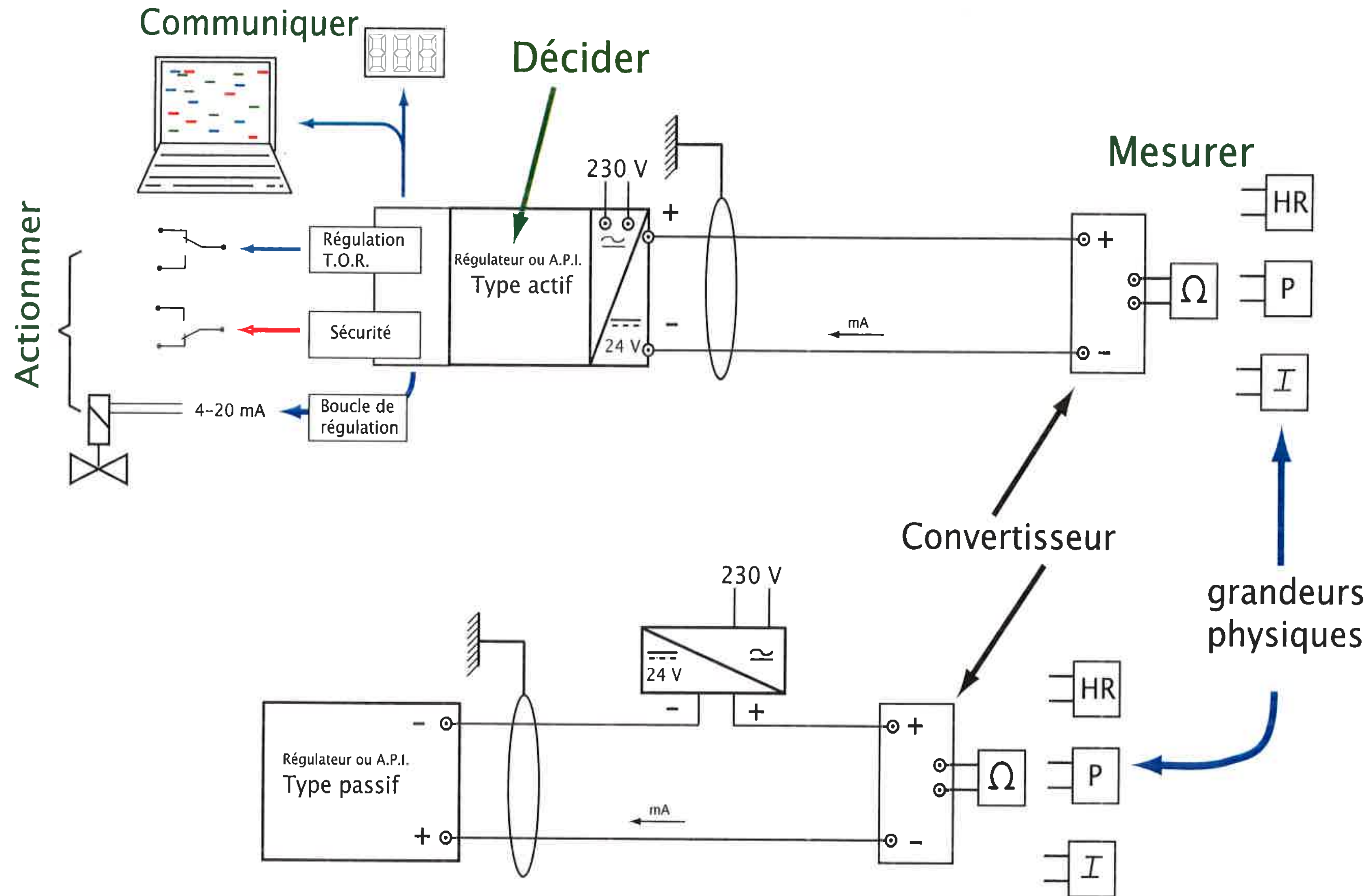
Avant l'apparition des A.P.I. le signal du pressostat commandait un programmateur à cames qui enclenchait ou déclenchait les niveaux de puissance des compresseurs. L'usage des A.P.I. a éliminé la présence d'un composant électromécanique. Aujourd'hui, le pressostat à zone neutre fait place au capteur de pression ou à la sonde de température qui donne son information à un automate. Certes, les technologies ont évolué, mais l'on recrée le principe de régulation avec la souplesse de la programmation d'automates.

Etat de puissance des compresseurs (évolution sur la page de gauche).

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Augmentation de la puissance		100 %				75 %
Zone neutre	75 %		100 %		50 %	
Diminution de la puissance				75 % puis 50 %		

Nota : les points rouges marquent les changements d'état des contacts, c'est aussi l'entrée ou la sortie de la zone neutre.

Boucles de régulation 4-20mA.



Boucles 4-20 mA : présentation.

Les boucles de régulation sont un des éléments qui contribuent aux performances d'une installation frigorifique.

Elles sont structurées pour répondre à ces 4 fonctions :

- **mesurer,** c'est le rôle du capteur,
- **décider**, c'est le rôle du régulateur,
- **actionner**, c'est le rôle du dispositif de réglage qui corrige les éventuelles dérives du système,
- **communiquer**, c'est la transmission à l'exploitant de la situation des capteurs, des régulateurs et des actions correctives en cours.

Ces 4 fonctions sont assurées par des boucles de tension ou de courant.

Les standards "tension" sont 0-10 V, 0-5V et 1-5 volts, les standards "courant" sont 0-20 mA et 4-20 mA.

La boucle 4-20 mA est la plus employée, aussi les rappels concerneront ce standard.

Avantages que présente la boucle 4-20mA :

- elle n'est pas perturbée par les distances,
- elle assure, avec un signal décalé de 4 mA, la sécurité en cas d'absence de courant.

Constitution d'une boucle (page de gauche) :

- un **convertisseur** transforme la grandeur physique mesurée en courant compris entre 4 et 20 mA,
- un **câble** composé de paire(s) torsadée(s), blindée(s) et isolée(s) assure une bonne communication entre le capteur et le régulateur. Les terres sont parfois soumises à des DDP, aussi le blindage du câble n'est relié à la terre qu'à une seule extrémité.
- une **alimentation** en courant continu de 24 volts alimente la boucle,
- un **régulateur** ou un **A.P.I.** qui, selon le cas, est actif ou passif.

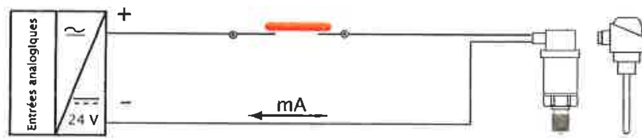
Les informations sont traitées et comparées aux consignes, puis transformées :

- en sorties T.O.R. exemple : des contacts qui mettent en service ou arrêtent des récepteurs,
- en sorties analogiques qui génèrent des courants de type 4-20 mA. Ces courants sont utiles pour la commande de variateurs de vitesse, de positionnement de vannes, etc.

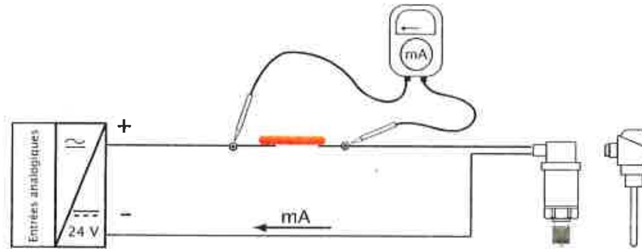
La fonction communication permet à l'exploitant de visualiser l'état de fonctionnement de son installation.

Les informations stockées facilitent une maintenance préventive et corrective.

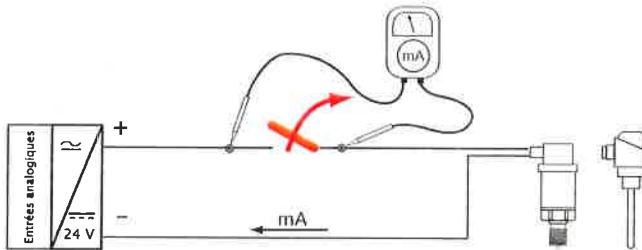
Insertion d'un ampèremètre



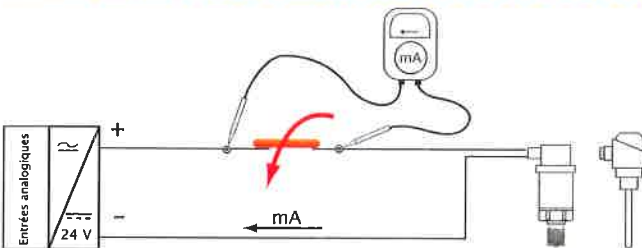
Etape 1



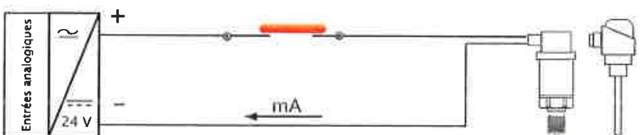
Etape 2



Etape 3

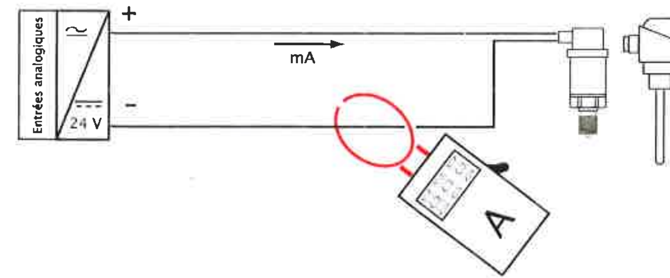


Etape 4

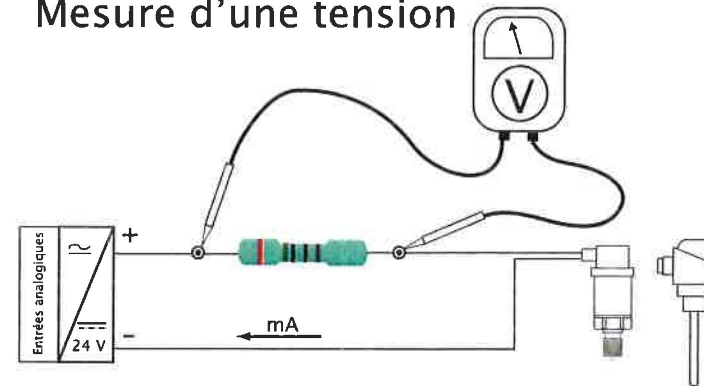


Etape 5

Pince ampèremétrique à effet Hall



Mesure d'une tension



Etapes 2-3-4



Boucle 4-20 mA : contrôle et mesure.

Dans l'exemple décrit, l'automate est de type "actif", c'est-à-dire qu'il produit la source de 24 volts courant continu et mesure l'intensité parcourue dans la boucle (entre 4 et 20 mA).

A la mise en service, l'entrée analogique est paramétrée pour une plage : sonde 0°C/150 °C ou -50°C/150°C.

Le changement de plage d'une sonde implique un nouveau paramétrage de l'entrée analogique.

Trois moyens sont à notre disposition pour déterminer l'intensité dans une boucle et ainsi connaître la valeur de la grandeur physique :

l'insertion d'un ampèremètre en série (Etapes de 1 à 5).

Pour faciliter la mesure, les borniers sont équipés de petits sectionneurs qui reçoivent les "pointes touches" de l'ampèremètre pendant la mesure. L'objectif est de ne pas interrompre le passage du courant qui serait interprété comme :

- un problème d'alimentation en 24 volts,
- une anomalie du capteur,
- un problème de connectique tout au long de la boucle,
- un défaut de la carte d'entrées analogiques.

Pour éviter de créer des perturbations pendant la mesure, il est impératif de suivre les étapes de 1 à 5.

l'utilisation d'une pince ampèremétrique à effet Hall.

Seule cette pince est adaptée à la mesure d'un courant continu. Son utilisation est identique à celle utilisée pour le courant alternatif, la lecture est immédiate, elle ne nécessite aucune manipulation ou intervention sur le circuit.

la mesure d'une tension.

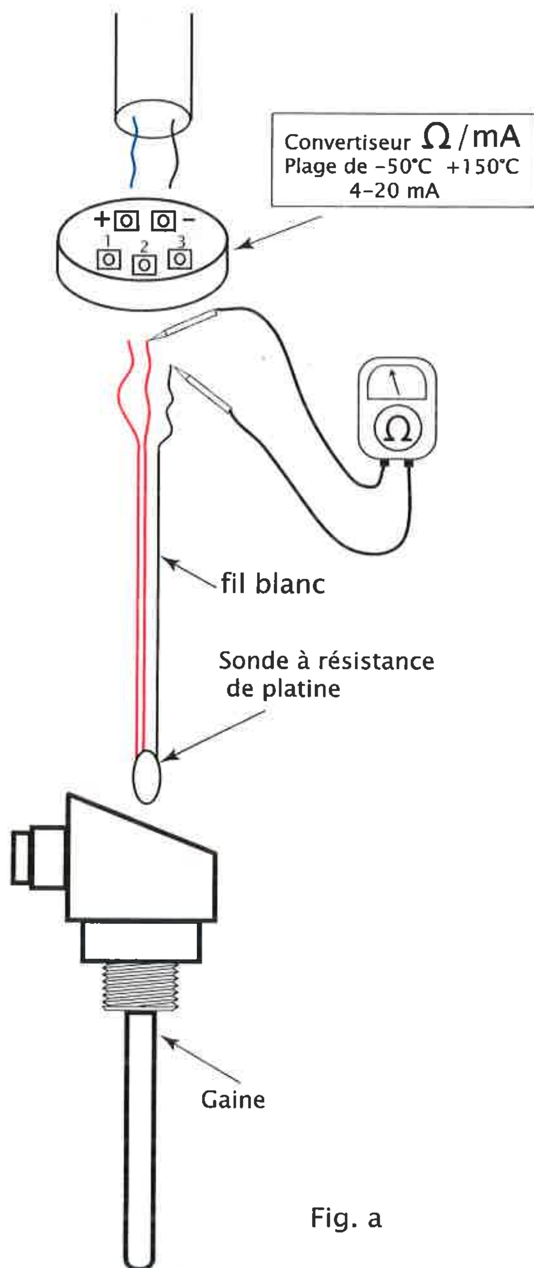
L'application de la loi d'Ohm, $U=RI$, permet, en mesurant la tension aux bornes d'une résistance, de calculer l'intensité. Pour une mesure précise, choisir une résistance dont la tolérance est faible, si possible $\pm$0,1 % (informations page 198).

Les unités : U = volt, R = ohm et I = ampère. Les valeurs mesurées : résistance = 250 Ω ; tension = 1 volt,

$$I = \frac{U}{R} = \frac{1}{250} = 0{,}004 \text{ A soit 4mA.}$$

Avec ce montage, pour une intensité de 20mA, la tension mesurée serait : U= 250 × 0,020= 5 volts.

Pt 100-boucle 4-20mA. Interprétation des mesures.



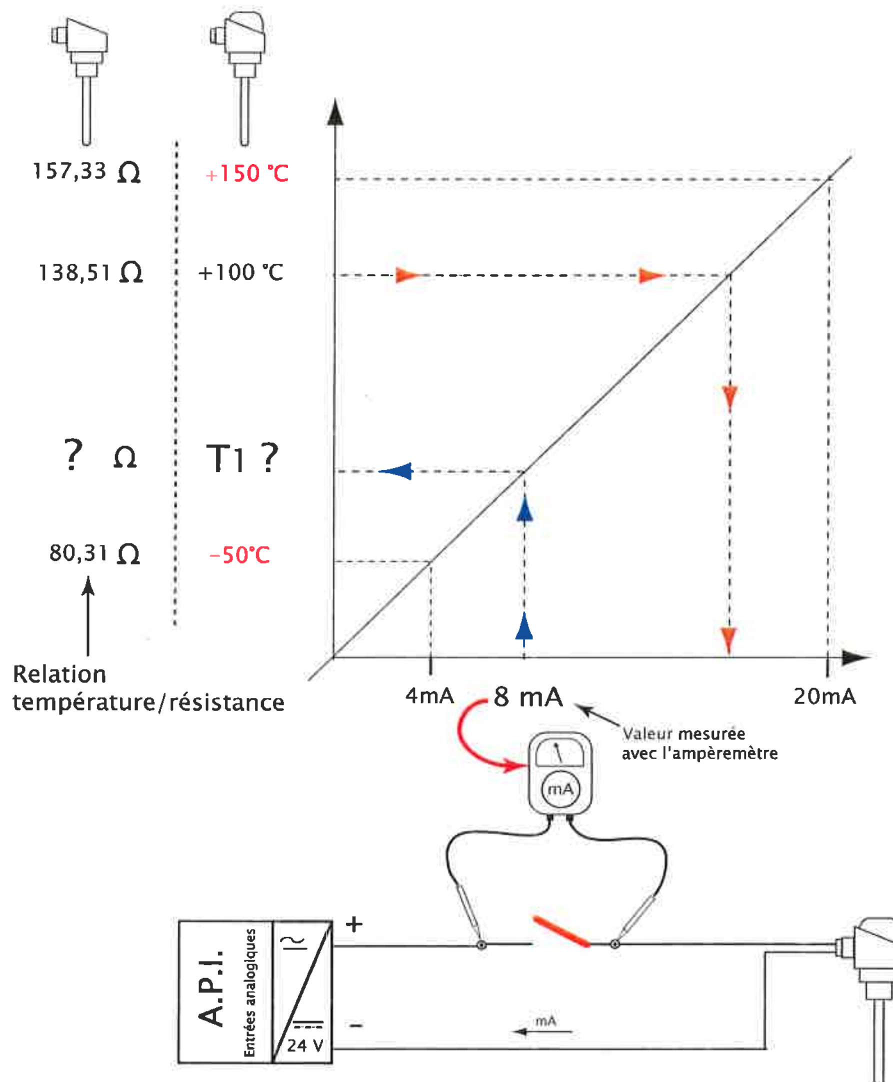


Fig. a

Pt 100 et boucle de 4-20 mA. Interprétation des mesures.

Pour interpréter les mesures, il faut vérifier :

- la plage de mesure du capteur, exemple : -50°C/+150°C,
- le signal du courant délivré par le capteur : 4-20 mA, 1-5 volts,
- le paramétrage de l'entrée analogique (signal et étendue de la plage).

La construction d'un repère orthonormé regroupe toutes les valeurs concernées par la mesure et facilite ainsi le calcul.
La fonction est linéaire, cela signifie que le signal est proportionnel à la grandeur mesurée.

- Il est donc possible d'utiliser une règle de trois pour réaliser les calculs.

Mesure de la température T1.

Plage de la sonde de température : 200°C (-50/+150°C). Valeur de la mesure 8 mA. Etendue de la mesure : 20-4=16 mA.

- la température calculée est : $\frac{200 \times (8-4)}{16}$ = 50°C le signal est décalé, la température est donc de 50-50=0°C.

Calcul du signal correspondant à une température de 100°C.

- $\frac{16 \times 150}{200}$= 12 mA. Le signal est décalé de 4 mA, le courant sera donc de 12+4= 16 mA.

La sonde Pt 100. C'est une résistance en platine dont le coefficient de température est positif (CTP). Sa résistance (Ω) augmente en même temps que sa température. La valeur normalisée est : **100 Ω à 0°C** et **138,5 Ω à 100°C**.
Autres valeurs sur le tableau de la page 191.
Suivant la classe de la sonde, il est admis une tolérance de la valeur de la résistance.
A 70°C une sonde de classe A admet une tolérance de+/- 0,29 °C alors qu'une sonde de classe B admet une tolérance de +/- 0,65°C.

Coefficient de température α de la résistance.
Le coefficient d'une Pt 100 normalisée est α = 0,00385055 Ω/Ω/°C entre 0°C et 100°C.
A 70°C une sonde Pt 100 présente une résistance de : $100\,[1 + 0{,}00385055(70-0)]$=126,95Ω.

La sonde de type Pt 100 est la plus répandue, mais des constructeurs ont fait le choix d'utiliser d'autres standards de résistances pour leurs régulateurs. Exemples : Pt 500 ou Pt1000. Le tableau de la page 190 fournit ces valeurs.
Le coefficient de température reste identique à celui des Pt 100.

Par contre, le coefficient de température α du standard américain est : 0,003916 Ω/Ω/°C entre 0°C et 100°C !

Tableau sondes de température Pt 1000 et Pt 500. D'après document Danfoss.

Pt 1000					
°C	Ω	°C	Ω	°C	Ω
-48	811,0	-15	941,2	18	1070,2
-47	815,0	-14	945,2	19	1074,0
-46	818,9	-13	949,1	20	1077,9
-45	822,9	-12	953,0	21	1081,8
-44	826,9	-11	956,9	22	1085,7
-43	830,8	-10	960,9	23	1089,6
-42	835,0	-9	964,8	24	1093,5
-41	838,8	-8	968,7	25	1097,3
-40	842,7	-7	972,6	26	1101,2
-39	846,7	-6	976,5	27	1105,1
-38	850,6	-5	980,4	28	1109,0
-37	854,6	-4	984,4	29	1112,8
-36	858,5	-3	988,3	30	1167,7
-35	862,5	-2	992,2	31	1120,6
-34	866,4	-1	996,1	32	1124,5
-33	870,4	0	1000	33	1128,3
-32	874,3	1	1003,9	34	1132,2
-31	878,3	2	1007,8	35	1136,1
-30	882,2	3	1011,7	36	1139,9
-29	886,2	4	1015,6	37	1143,8
-28	890,1	5	1019,5	38	1147,7
-27	894,0	6	1023,4	39	1151,5
-26	898,0	7	1027,3	40	1155,4
-25	901,9	8	1031,2	41	1159,3
-24	905,9	9	1035,1	42	1163,1
-23	909,8	10	1039,0	43	1167,0
-22	913,7	11	1042,9	44	1178,8
-21	917,7	12	1046,8	45	1174,7
-20	921,6	13	1050,7	46	1178,5
-19	925,5	14	1054,6	47	1182,4
-18	929,5	15	1058,5	48	1186,3
-17	933,4	16	1062,4	49	1190,1
-16	937,3	17	1066,3	50	1194,0

Pt 500					
°C	Ω	°C	Ω	°C	Ω
-48	405,5	-15	470,6	18	535,1
-47	407,5	-14	472,6	19	537,0
-46	409,5	-13	474,6	20	539,0
-45	411,5	-12	476,5	21	540,9
-44	413,5	-11	478,5	22	542,9
-43	415,4	-10	480,5	23	544,8
-42	417,5	-9	482,4	24	546,8
-41	419,4	-8	484,4	25	548,7
-40	421,4	-7	486,3	26	550,6
-39	423,4	-6	488,3	27	552,6
-38	425,3	-5	490,2	28	554,5
-37	427,3	-4	492,2	29	556,4
-36	429,3	-3	494,2	30	558,4
-35	431,3	-2	496,1	31	560,3
-34	433,2	-1	498,1	32	562,3
-33	435,2	0	500	33	564,2
-32	437,2	1	502,9	34	566,1
-31	439,2	2	503,9	35	568,1
-30	441,1	3	505,9	36	570,0
-29	443,1	4	507,8	37	571,9
-28	445,1	5	509,8	38	573,9
-27	447,0	6	511,7	39	575,8
-26	449,0	7	513,7	40	577,6
-25	451,0	8	515,6	41	579,7
-24	453,0	9	517,6	42	581,6
-23	454,9	10	519,5	43	583,5
-22	456,9	11	521,5	44	585,4
-21	458,9	12	523,4	45	587,4
-20	460,8	13	525,4	46	589,3
-19	462,8	14	527,3	47	591,2
-18	464,8	15	529,3	48	593,2
-17	466,7	16	531,2	49	595,1
-16	468,7	17	533,2	50	597,0

Relati

°C
-46
-45
-44
-43
-42
-41
-40
-39
-38
-37
-36
-35
-34
-33
-32
-31
-30
-29
-28
-27
-26
-25
-24
-23
-22
-21
-20
-19

Ω
35,1
37,0
39,0
40,9
42,9
44,8
46,8
48,7
50,6
52,6
54,5
56,4
58,4
60,3
62,3
64,2
66,1
68,1
70,0
71,9
73,9
75,8
77,6
79,7
81,6
83,5
85,4
87,4
89,3
91,2
93,2
95,1
97,0

Relation entre la résistance et la température des résistances de platine (Pt). Résistances Pt 100 normalisées.

Pt 100													
°C	Ω	°C	Ω	°C	Ω	°C	Ω	°C	Ω	°C	Ω	°C	Ω
-46	81,89	-18	92,95	10	103,90	38	114,77	66	125,54	94	136,23	122	146,82
-45	82,29	-17	93,34	11	104,29	39	115,15	67	125,93	95	136,61	123	147,20
-44	82,69	-16	93,73	12	104,68	40	115,54	68	126,31	96	136,99	124	147,57
-43	83,08	-15	94,12	13	105,07	41	115,93	69	126,69	97	137,37	125	147,95
-42	83,48	-14	94,52	14	105,46	42	116,31	70	127,08	98	137,75	126	148,33
-41	83,87	-13	94,91	15	105,85	43	116,70	71	127,46	99	138,13	127	148,70
-40	84,27	-12	95,30	16	106,24	44	117,08	72	127,84	100	138,51	128	149,08
-39	84,67	-11	95,69	17	106,63	45	117,47	73	128,22	101	138,88	129	149,46
-38	85,06	-10	96,09	18	107,02	46	117,86	74	128,61	102	139,26	130	149,83
-37	85,46	-9	96,48	19	107,40	47	118,24	75	128,99	103	139,64	131	150,21
-36	85,85	-8	96,87	20	107,79	48	118,63	76	129,37	104	140,02	132	150,58
-35	86,25	-7	97,26	21	108,18	49	119,01	77	129,75	105	140,40	133	150,96
-34	86,64	-6	97,65	22	108,57	50	119,40	78	130,13	106	140,78	134	151,33
-33	87,04	-5	98,04	23	108,96	51	119,78	79	130,52	107	141,16	135	151,71
-32	87,43	-4	98,44	24	109,36	52	120,17	80	130,90	108	141,54	136	152,08
-31	87,83	-3	98,83	25	109,73	53	120,55	81	131,28	109	141,91	137	152,46
-30	88,22	-2	99,22	26	110,12	54	120,94	82	131,66	110	142,29	138	152,83
-29	88,62	-1	99,61	27	110,51	55	121,32	83	132,04	111	142,67	139	153,21
-28	89,01	0	100	28	110,90	56	121,71	84	132,42	112	143,05	140	153,58
-27	89,40	1	100,39	29	111,29	57	122,09	85	132,80	113	143,43	141	153,96
-26	89,80	2	100,78	30	111,67	58	122,47	86	133,18	114	143,80	142	154,33
-25	90,19	3	101,17	31	112,06	59	122,86	87	133,57	115	144,18	143	154,71
-24	90,59	4	101,56	32	112,45	60	123,24	88	133,95	116	144,56	144	155,08
-23	90,98	5	101,95	33	112,83	61	123,63	89	134,33	117	144,94	145	155,46
-22	91,37	6	102,34	34	113,22	62	124,01	90	134,71	118	145,31	146	155,83
-21	91,77	7	102,73	35	113,61	63	124,39	91	135,09	119	145,69	147	156,20
-20	92,16	8	103,12	36	114,00	64	124,78	92	135,47	120	146,07	148	156,58
-19	92,55	9	103,51	37	114,38	65	125,16	93	135,85	121	146,44	149	156,95

Raccordements des Pt 100.

Couleur des conducteurs et configurations des montages d'après CEI 751.

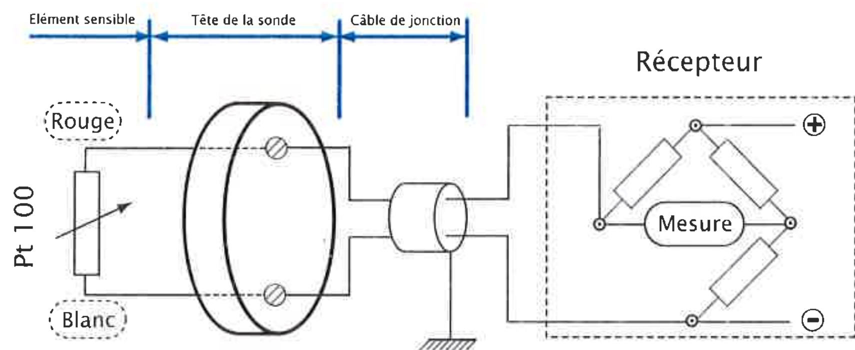


Fig. a Montage avec 2 fils de jonction.

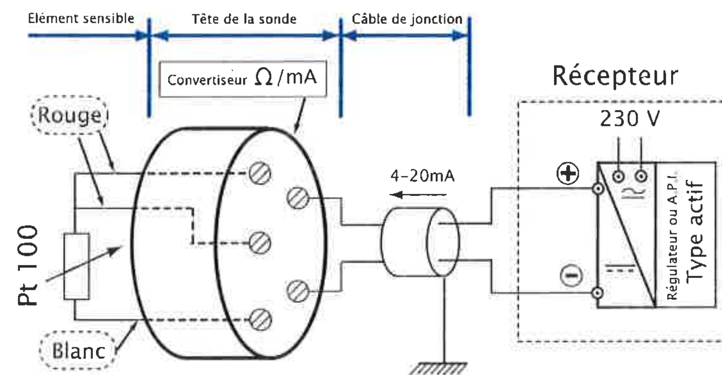


Fig. b Montage avec 2 fils de jonction.

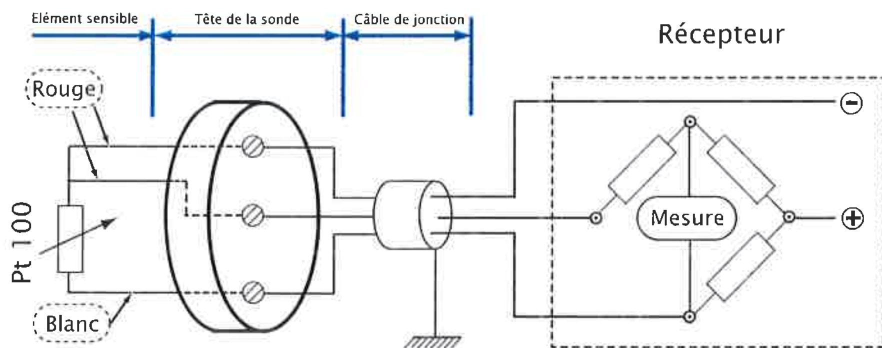


Fig. c Montage avec 3 fils de jonction.

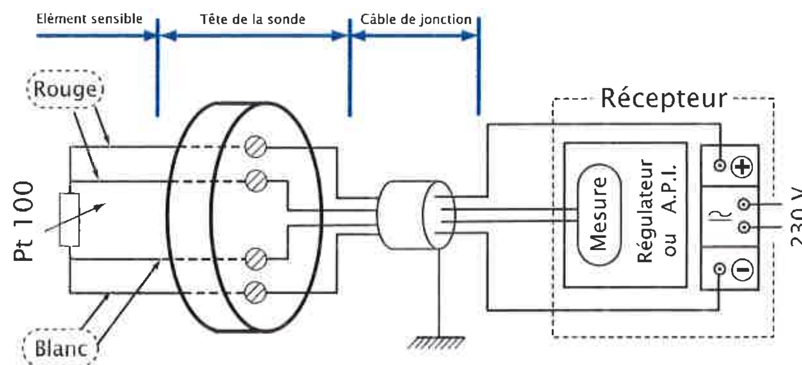


Fig. d Montage avec 4 fils de jonction.

Raccordements des Pt 100.

<u>Raccordement avec 2 fils</u> (Fig. a).
Dans ce montage, la résistance des 2 fils de liaison s'additionne, ce qui implique un manque de précision dans la mesure.
Toutefois, ce montage simple convient pour les appareils de mesure portatifs pour lesquels la résistance des fils est négligeable.
La liaison filaire se fait avec <u>une paire</u> raccordée à un pont de Wheastone équilibré.

<u>Raccordement avec 2 fils et convertisseur</u> (Fig. b).
Un convertisseur logé dans la tête de la sonde transforme la valeur de la résistance, donc de la température, en un signal intensité.
Ce signal est linéaire. La distance entre la sonde et le récepteur ne perturbe pas le signal, il est de ce fait très utilisé.
Le convertisseur est programmé pour une plage de température et pour un signal (0-10 volts, 4-20 mA, etc.).
Les *<u>convertisseurs</u>* sont parfois appelés *<u>transmetteurs</u>*, certains constructeurs proposent également des versions reconfigurables.

<u>Raccordement avec 3 fils</u> (Fig. c).

Ce montage s'impose lorsque les distances entre la mesure et le récepteur sont importantes (plusieurs centaines de mètres). La liaison filaire se fait avec <u>une tierce</u> raccordée à un pont de Wheatstone.

L'utilisation de 3 conducteurs permet d'annuler la résistance des liaisons, mais ils doivent être identiques.

<u>Raccordement avec 4 fils</u> (Fig. d).
Ce montage comprend une boucle d'alimentation à courant constant et une boucle qui mesure la tension aux bornes de la Pt 100.
Ainsi les résultats, quelles que soient les distances, sont très précis.
La liaison filaire se fait avec <u>une quarte</u> raccordée à un récepteur électronique de type régulateur ou automate programmable.

Constitution des câbles :

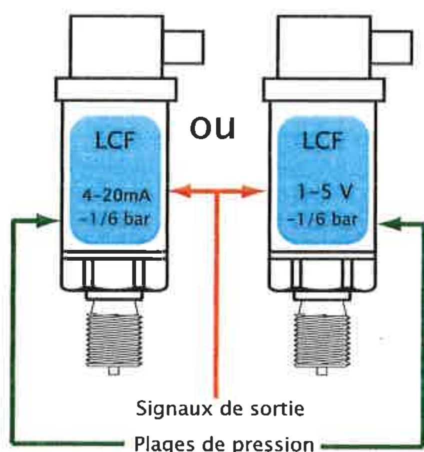
- ils sont torsadés pour éviter les parasites d'origine inductive créés par les champs magnétiques,
- ils sont blindés par une feuille conductrice fine pour éviter les parasites d'origine capacitive créés par les champs électriques,
- ils possèdent un conducteur nu, appelé drain, inséré autour des câbles et raccordé à <u>une</u> de leurs extrémités.

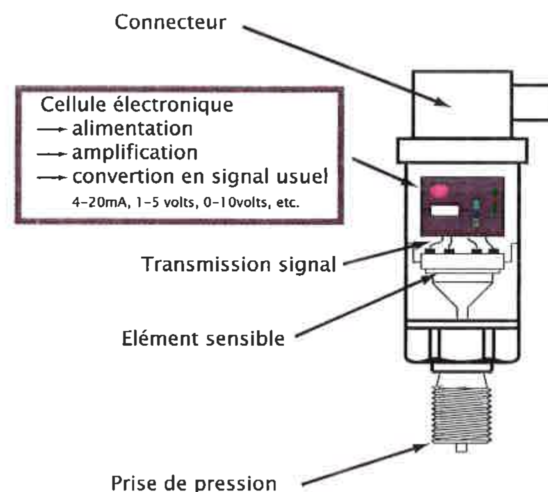
L'extrémité du blindage, qui n'est pas reliée à la masse, doit être protégée de tout contact à l'aide d'un isolant adhésif.

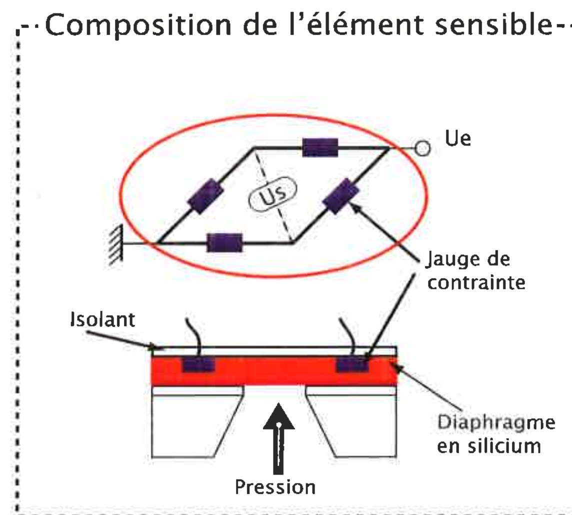
Cheminement des câbles : on doit s'efforcer d'éloigner les câbles "signal" des câbles "puissance".

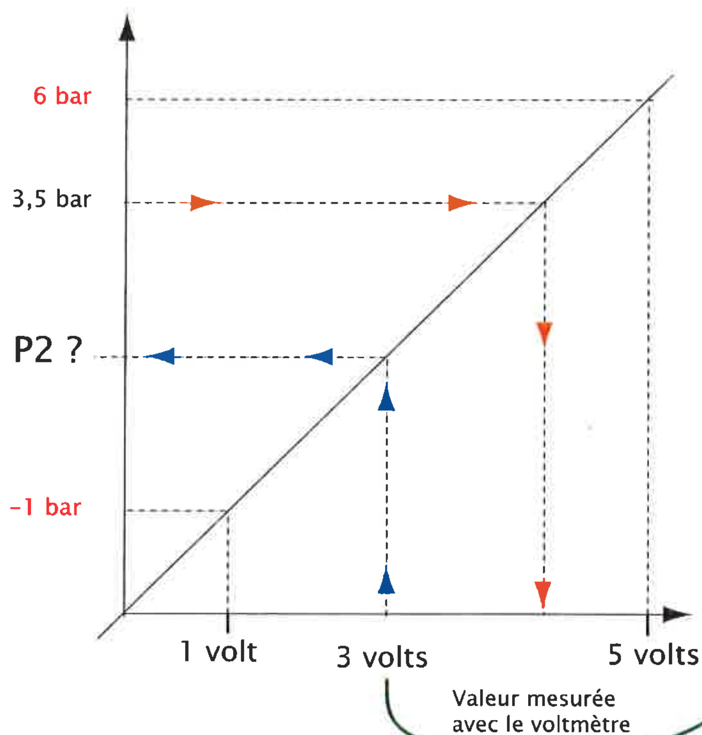
- pour les chemins de câbles parallèles, respecter au moins une distance de 1 mètre,
- pour les chemins de câbles qui se croisent, prévoir au moins 20 cm.
  Les chemins de câbles doivent se situer à au moins 1 mètre des sources perturbatrices comme les moteurs, les variateurs de vitesse, les transformateurs, etc.

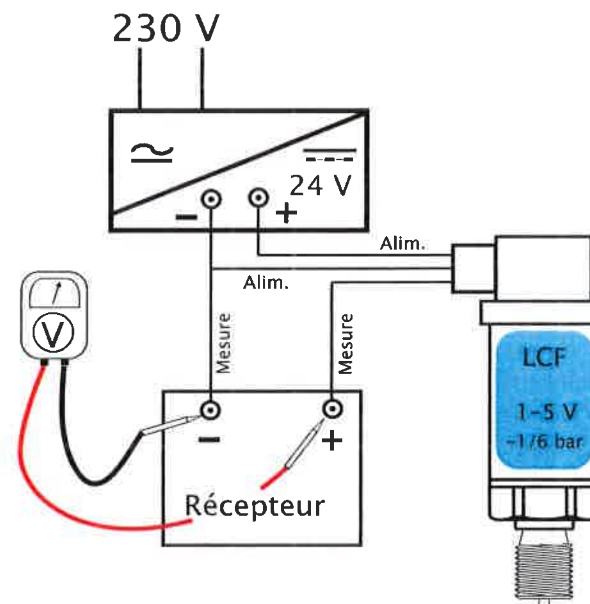
Capteur de pression. Boucle 1-5 volts. Interprétation des mesures.











Capteur de pression et boucle 1-5 volts. Interprétation des mesures.

La technologie des capteurs piézoélectriques en silicium est largement utilisée pour les applications de l'industrie.

La piézorésistance d'un fil métallique est la variation de la résistance électrique lorsque le fil subit des déformations.

Dans l'application aux capteurs de pression, l'élongation du fil engendre une variation de la section qui se traduit par une variation de sa résistance. Des jauges de très petites dimensions, longueur 50 µm et diamètre 10 µm, composent un pont de Wheatstone. Le pont est alimenté par une tension Ue. Les jauges sont solidaires d'un diaphragme qui est soumis à la pression à mesurer.
Sous l'effet de la pression, le diaphragme et les jauges se déforment.
Les résistances varient modifiant l'équilibre du pont et le signal de sortie Us.
Un circuit électronique analyse les variations.
Le capteur transmet la nouvelle pression par l'intermédiaire d'un signal tension ou courant.

Pour interpréter les mesures, il faut vérifier :

- la plage de mesure du capteur, exemples : -1/21 bar, -1/6 bar,
- le signal du courant délivré par le capteur : 4-20mA, 1-5 volts,
- le paramétrage de l'entrée analogique (signal et étendue de la plage).

La construction d'un repère orthonormé regroupe toutes les valeurs concernées par la mesure et facilite ainsi le calcul.
La fonction est linéaire, cela signifie que le signal est proportionnel à la grandeur mesurée. :

- Il est donc possible d'utiliser une règle de trois pour réaliser les calculs.

Mesure de la pression P2.

Plage du capteur de pression : 7 bar (-1/ 6bar). Valeur de la mesure 3 volts. Etendue de la mesure : 5-1=4 volts.

- la pression du circuit est : $\frac{7\times(3-1)}{4}$= 3,5 bar absolu soit 2,5 bar relatif.

Calcul du signal correspondant à une pression de 3,5 bar (P absolue : 4,5 bar).

- $\frac{4\times(3,5+1)}{7}$=2,57 volts, Le signal est décalé de 1 volt, la tension sera donc de 2,57 + 1 =3,57 volts.

Couple thermoélectrique ou thermocouple.

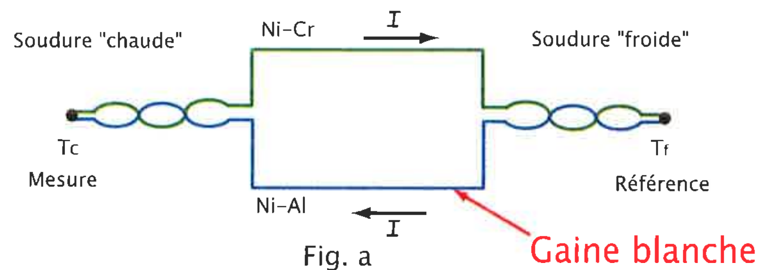


Fig. a

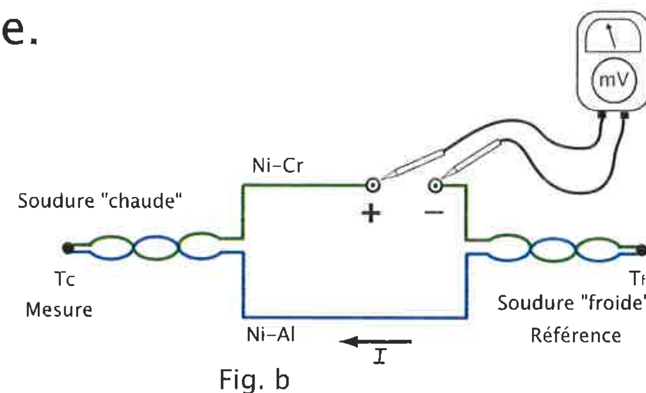


Fig. b

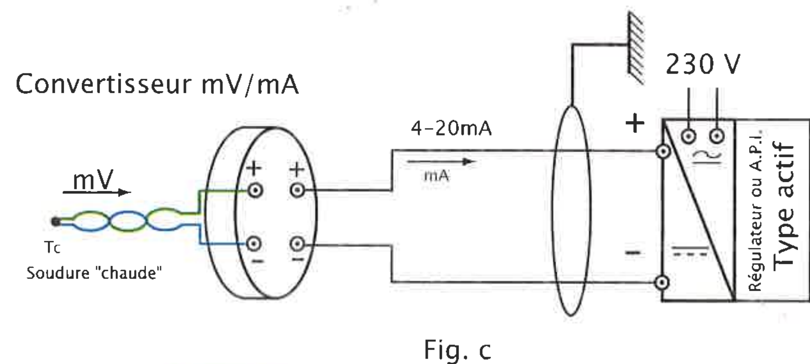


Fig. c

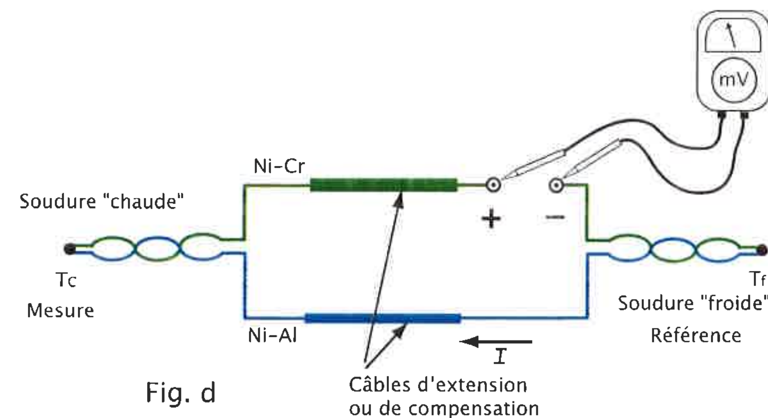
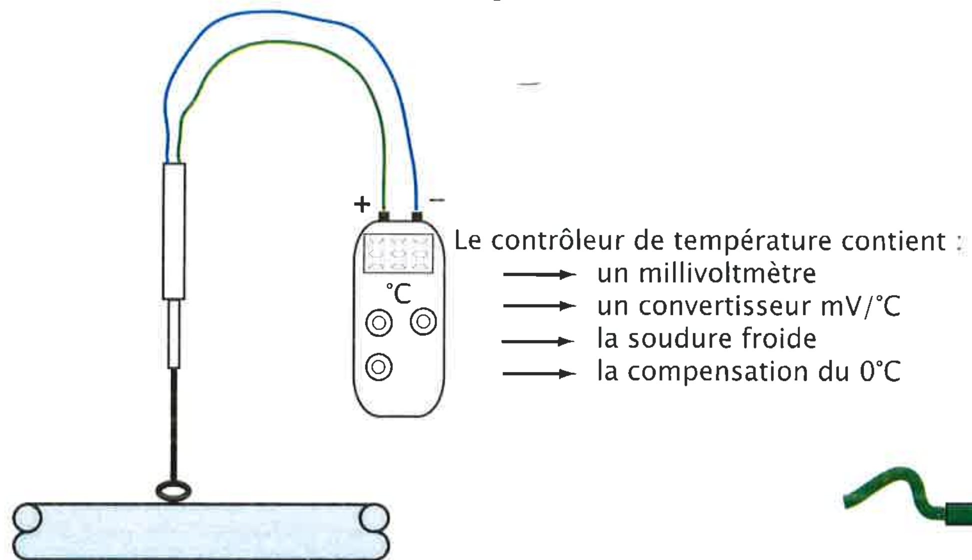


Fig. d



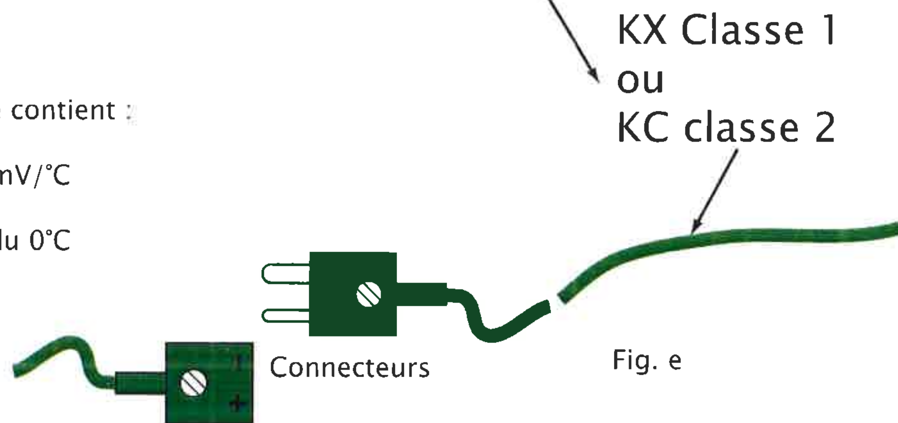


Fig. e

Couple thermoélectrique ou thermocouple.

Deux fils métalliques de constitution homogène mais de nature différente sont soudés à leurs extrémités, ils constituent un couple thermoélectrique ou thermocouple. Une des soudures est dénommée "soudure chaude", c'est le point de mesure, l'autre est dénommée "soudure froide", c'est le point de référence (Fig. a).

Lorsqu'il existe une différence de température entre ces 2 soudures, il se crée une circulation d'électrons repérée sur le schéma (Fig. b).
Sur la figure b, un millivoltmètre mesure la F.E.M. engendrée par la circulation des électrons. Cette F.E.M. s'exprime en µV/°C. Pour un couple K (Ni-Cr/Ni-Al), la F.E.M. est d'environ 40 µV par degré d'écart entre les 2 soudures. La relation température/millivolts n'est pas linéaire, aussi il est prudent de consulter les tables de référence. Elles donnent les températures pour la F.E.M. mesurée en fonction du couple en présence.
Les tables sont basées sur une température de référence de la soudure froide à 0°C. Cependant, les appareils de mesure sont très rarement à 0°C, il faut donc faire une compensation de la soudure "froide", c'est un composant électronique qui corrige le ΔT en injectant la tension nécessaire.



Exemple : valeurs des F.E.M. en fonction de la différence de température entre les 2 soudures pour une sonde de type K.

Températures	-100°C	-50°C	0°C	+50°C	+100°C
F.E.M. en µV	-3554	-1889	0	2023	4096

L'éloignement du point de mesure et du point de traitement exige l'emploi de 2 types de câbles (Fig. d et e) :
- ↳ les câbles d'<u>extension</u>, fabriqués avec les mêmes matériaux que les thermocouples,
- ↳ les câbles de <u>compensation</u>, constitués de métaux différents des thermocouples.

Ces derniers sont moins onéreux et créent des variations de courant assez faibles dans la plage d'utilisation des frigoristes.
Ces câbles et leurs connecteurs utilisent le même code de couleur que les gaines des thermocouples (page 199). Pour les différencier, un marquage sur la gaine s'impose. Exemples :

<u>KX classe 1</u> : câble pour thermocouple K, le repère X indique qu'il s'agit d'une extension, la tolérance de mesure est de ± 1,5°C.

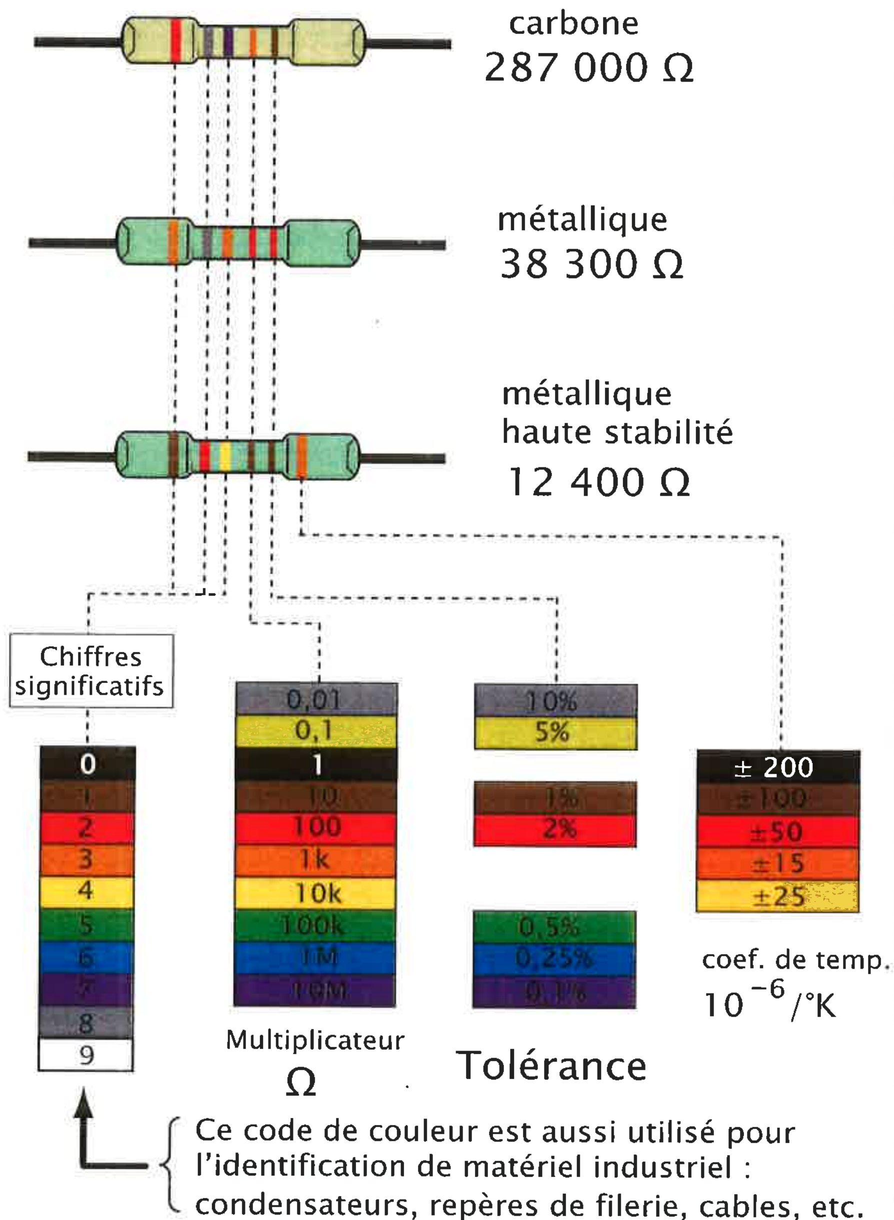
<u>KC classe 2</u> : câble pour thermocouple K, le repère C indique qu'il s'agit d'une compensation, la tolérance de mesure est de ± 2,5°C.
Pour les conditions d'exploitation des thermocouples dans notre profession, la température extérieure n'a pas d'influence sur la mesure.

A l'aide de convertisseurs ou transmetteurs, les thermocouples peuvent intégrer des boucles de régulation comme indiqué sur la figure c.

Ils équipent très souvent les thermomètres portatifs en raison de leur faible coût, de leur robustesse et de la facilité de mise en œuvre.

Il est possible de réaliser soi-même les soudures chaudes en soudant les 2 câbles sous atmosphère neutre (Azote par exemple).

Code des couleurs des résistances.



Multiples et sous-multiples des grandeurs. Symboles, préfixes et facteurs.

exa – E ⇔ 1 000 000 000 000 000 000 ⇔ 10^{18}

peta – P ⇔ 1 000 000 000 000 000 ⇔ 10^{15}

téra – T ⇔ 1 000 000 000 000 ⇔ 10^{12}

giga – G ⇔ 1 000 000 000 ⇔ 10^{9}

méga – M ⇔ 1 000 000 ⇔ 10^{6}

kilo – k ⇔ 1 000 ⇔ 10^{3}

hecto – h ⇔ 100 ⇔ 10^{2}

déca – da ⇔ 10 ⇔ 10^{1}

déci – d ⇔ 0,1 ⇔ 10^{-1}

centi – c ⇔ 0,01 ⇔ 10^{-2}

milli – m ⇔ 0,001 ⇔ 10^{-3}

micro – µ ⇔ 0,000 001 ⇔ 10^{-6}

nano – n ⇔ 0,000 000 001 ⇔ 10^{-9}

pico – p ⇔ 0,000 000 000 001 ⇔ 10^{-12}

femto – f ⇔ 0,000 000 000 000 001 ⇔ 10^{-15}

atto – a ⇔ 0,000 000 000 000 000 001 ⇔ 10^{-18}

Câbles d'extension et de compensation pour thermocouples.

Code de couleur international. Norme CEI 584.3 (1989)/ NF C 42-323 (1997)

Type de thermocouple	K		T		J		E		N		R		S		B	
Domaine d'utilisation °C	-270/1372		270/400		210/1200		270/1000		270/1300		-50/1760		-50/1760		0/1820	
Câble d'extension	KX		TX		JX		EX		NX		–		–		–	
Câble de compensation	KCA/KCB		TC		JC		EC		NC		RCA/RCB		SCA/SCB		BC	
Polarité	+	–	+	–	+	–	+	–	+	–	+	–	+	–	+	–
Conducteurs																
Gaine																
Métaux	Ni-Cr	Ni-Al	Cu	Cu-Ni	Fe	Cu-Ni	Ni-Cr	Cu-Ni	Ni-Cr-SI	Ni-Si	Pt-Rh	Pt	Pt-Rh	Pt	Pt-Rh	Pt-Rh
Ancienne norme Française. NF C 42-324 (1985)																
Câble d'extension	KX		TX		JX		EX									
Câble de compensation	KC/KCB		TC		JC		EC						SCA/SCB		BC	
Polarité	+	–	+	–	+	–	+	–	+	–	+	–	+	–	+	–
Conducteurs																
Gaine	KX/KC		TX		JX		EX						SCA			
Conducteurs																
Gaine	KCB		TC		JC		EC						SCB		BC	

Tunnel de congélation au R22

EV 4

C2

C3

S2

PZHH 1

M

EV 3

Réduction de puissance par levée des clapets BP.
EV 3 et EV4
Capacité 50% ou 100%

C4

C1

S1

Variation de vitesse

Hz

Injection de désurchauffe.

EV 1

TC

EV 2

Qk

Q0

PZHH 1 conforme à la norme EN 378.2

Tunnel de congélation.

L'installation bi-étagée est gérée par un automate programmable. Il possède des entrées analogiques auxquelles les sondes de température et les capteurs de pression sont raccordés. Dans l'automate, chaque valeur mesurée donne naissance à un mot (W), ce mot est ensuite comparé aux consignes de régulation ou de sécurité.

Après le dégivrage manuel à l'eau, la température d'évaporation est élevée, l'automatisme prend en compte cette situation pour favoriser le démarrage.

Sur le circuit BP, fonctions du capteur C1:

- l'installation démarre sans ventilation et sans injection de liquide (EV2), elles seront mises en service à 1,5 bar (-32°C),
- si la charge thermique est trop importante et que la BP atteint 4,70 bar, le compresseur passe à 50 % de sa puissance. Cette réduction de puissance limite l'augmentation de la MP. Dès 3,8 bar, le compresseur repasse à 100 %.
- avant l'arrêt de l'installation, l'EV2 est mise hors tension, la BP descend jusqu'à 1,15 bar (-38°C),
- la sécurité est fixée à 1,052 bar (-40°C).

Sur le circuit MP, fonctions du capteur C2 :

- si la charge thermique est trop importante, l'étage HP n'est pas en capacité de recevoir toute l'énergie rejetée par l'étage BP. A 8,10 bar, le compresseur passera à 50 % de sa puissance. Ceci limite le débit masse refoulé par l'étage BP. A 7 bar, le compresseur repasse à 100 % de sa puissance.
- la sécurité est fixée à 9,10 bar.

Sur le circuit HP, fonctions du capteur C3 :

- la pression de condensation est régulée à l'aide d'un variateur de vitesse, la HP souhaitée est de 13,50 bar,
- avec une charge thermique trop importante ou des conditions météo défavorables, le compresseur passe à 50% dès 16,90 bar, Ce délestage limite la HP et permet à la régulation de vitesse de se stabiliser. A 14,20 bar, le système repasse à 100%.
- la sécurité est fixée à 18 bar.

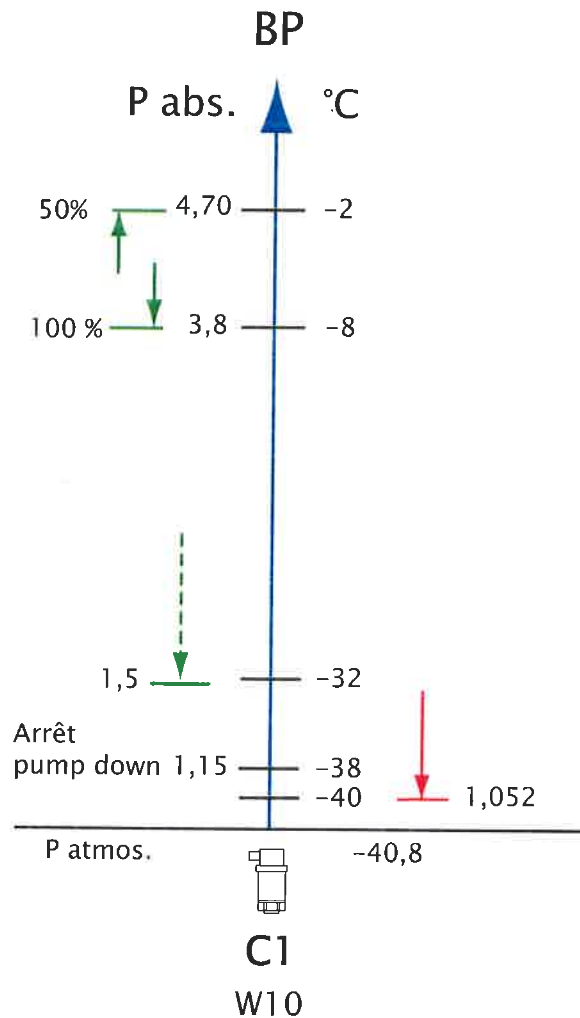
Sur les circuits MP et BP, fonctions des 2 sondes de températures :

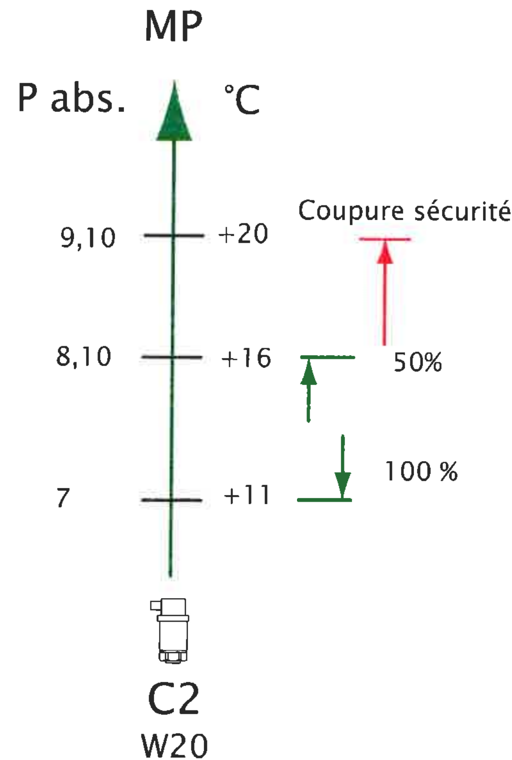
- la sonde S1 arrête l'installation à 80°C. Un problème mécanique sur les clapets de refoulement peut être à l'origine de cette température excessive.
- la sonde S2 a une fonction de régulation. Lorsque la température de refoulement atteint 100°C, l'EV 1est mise sous tension, l'injection de fluide frigorigène abaisse la température des gaz refoulés. A 93 °C, l'EV1 est mise hors tension,
- la sonde S2 a une fonction de sécurité. La sécurité est fixée à 110 °C à cette valeur, le compresseur s'arrête. C'est le cas lorsque la station de désurchauffe n'assure plus sa fonction ou qu'un clapet de refoulement cassé recycle les gaz HP.

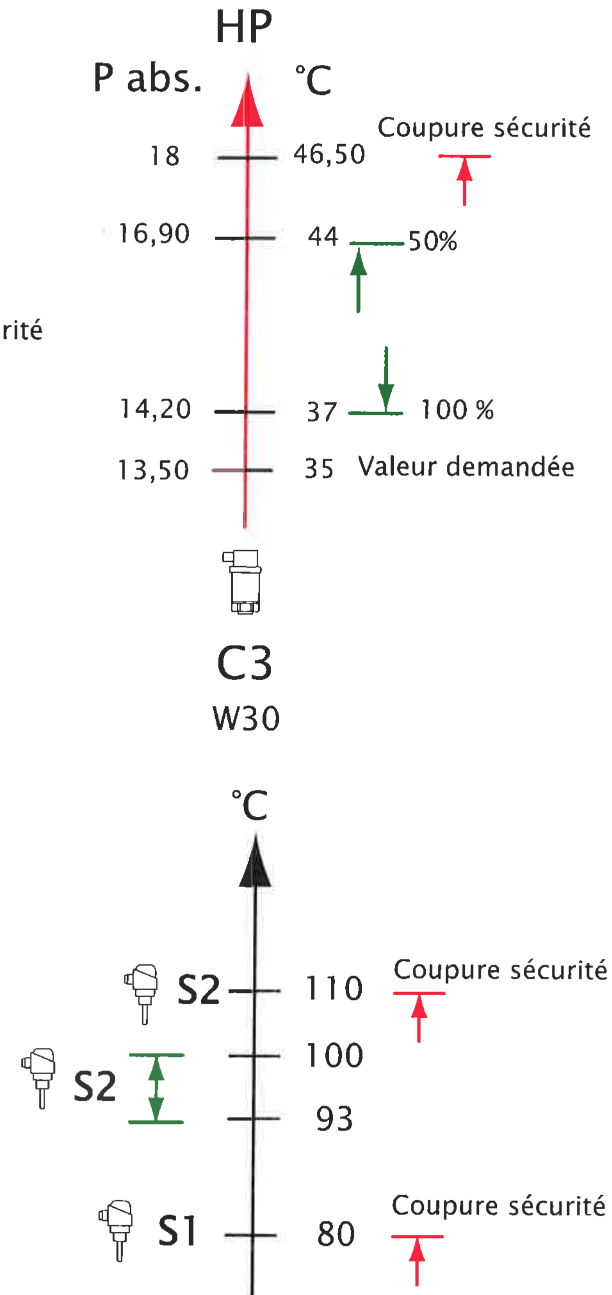
Le capteur C4 mesure la pression de refoulement de la pompe à huile. La pression d'aspiration de la pompe est communiquée par le capteur C1, c'est la BP. L'automate effectue le calcul : pression C4 - pression C1 = pression différentielle d'huile.
Cette différence doit être ≥ à 2,2 bar. Pour une valeur inférieure, le compresseur s'arrête.

Tunnel de congélation.
Paramètres de fonctionnement

Fluide frigorigène : R22







Tunnel de congélation.

L'installation bi-étagée est gérée par un automate programmable. Il possède des entrées analogiques auxquelles les sondes de température et les capteurs de pression sont raccordés. Dans l'automate, chaque valeur mesurée donne naissance à un mot (W), ce mot est ensuite comparé aux consignes de régulation ou de sécurité.

Après le dégivrage manuel à l'eau, la température d'évaporation est élevée, l'automatisme prend en compte cette situation pour favoriser le démarrage.

Sur le circuit BP, fonctions du capteur C1:

- l'installation démarre sans ventilation et sans injection de liquide (EV2), elles seront mises en service à 1,5 bar (-32°C),
- si la charge thermique est trop importante et que la BP atteint 4,70 bar, le compresseur passe à 50 % de sa puissance. Cette réduction de puissance limite l'augmentation de la MP. Dès 3,8 bar, le compresseur repasse à 100 %.
- avant l'arrêt de l'installation, l'EV2 est mise hors tension, la BP descend jusqu'à 1,15 bar (-38°C),
- la sécurité est fixée à 1,052 bar (-40°C).

Sur le circuit MP, fonctions du capteur C2 :

- si la charge thermique est trop importante, l'étage HP n'est pas en capacité de recevoir toute l'énergie rejetée par l'étage BP. A 8,10 bar, le compresseur passera à 50 % de sa puissance. Ceci limite le débit masse refoulé par l'étage BP. A 7 bar, le compresseur repasse à 100 % de sa puissance.
- la sécurité est fixée à 9,10 bar.

Sur le circuit HP, fonctions du capteur C3 :

- la pression de condensation est régulée à l'aide d'un variateur de vitesse, la HP souhaitée est de 13,50 bar,
- avec une charge thermique trop importante ou des conditions météo défavorables, le compresseur passe à 50% dès 16,90 bar, Ce délestage limite la HP et permet à la régulation de vitesse de se stabiliser. A 14,20 bar, le système repasse à 100%.
- la sécurité est fixée à 18 bar.

Sur les circuits MP et BP, fonctions des 2 sondes de températures :

- la sonde S1 arrête l'installation à 80°C. Un problème mécanique sur les clapets de refoulement peut être à l'origine de cette température excessive.
- la sonde S2 a une fonction de régulation. Lorsque la température de refoulement atteint 100°C, l'EV 1est mise sous tension, l'injection de fluide frigorigène abaisse la température des gaz refoulés. A 93 °C, l'EV1 est mise hors tension,
- la sonde S2 a une fonction de sécurité. La sécurité est fixée à 110 °C à cette valeur, le compresseur s'arrête. C'est le cas lorsque la station de désurchauffe n'assure plus sa fonction ou qu'un clapet de refoulement cassé recycle les gaz HP.

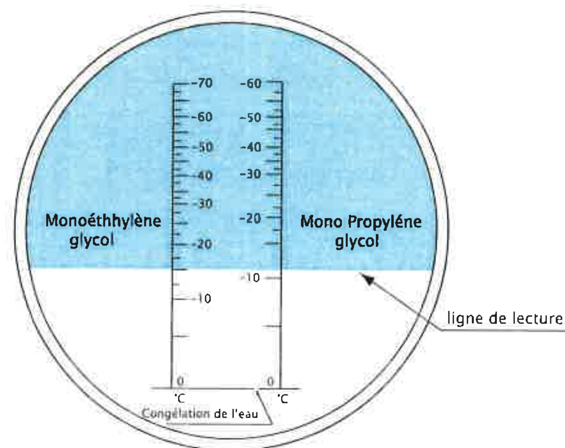
Le capteur C4 mesure la pression de refoulement de la pompe à huile. La pression d'aspiration de la pompe est communiquée par le capteur C1, c'est la BP. L'automate effectue le calcul : pression C4 - pression C1 = pression différentielle d'huile.
Cette différence doit être ≥ à 2,2 bar. Pour une valeur inférieure, le compresseur s'arrête.

Contrôle d'un point de congélation.
Le réfractomètre.



La connaissance du point de congélation d'un liquide est importante :

⇨ pour la protection anti-gel de l'installation en cas de sous-dosage,
⇨ pour les économies d'énergie en cas de sur-dosage
(intensité des pompes et échanges thermiques).



Deux méthodes permettent de connaître ce point de congélation :

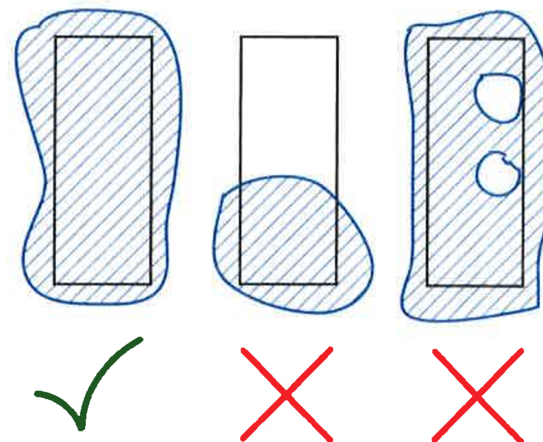
⇨ la détermination de la masse volumique, détaillée page de gauche,
⇨ le contrôle avec un réfractomètre, détaillé ci-dessous.

Le réfractomètre est un appareil d'optique, donc fragile, qui affiche instantanément la valeur du point de congélation.
Cette technologie très fiable est largement utilisée dans l'industrie.

Procédure pour un contrôle.

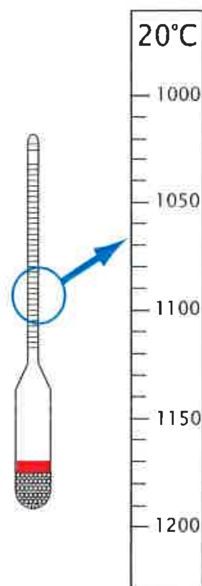
⇨ poser le liquide à contrôler sur le prisme et rabattre le couvercle.
Le liquide doit couvrir la totalité du prisme, voir illustration.
⇨ viser une source de lumière,
⇨ ajuster la netteté de la vue à l'aide de la bague de mise au point,
⇨ lire le point de congélation à la base du secteur bleuté (ligne de lecture).

Dans notre exemple, le liquide contrôlé est du MEG, sa température de congélation est de -15°C.

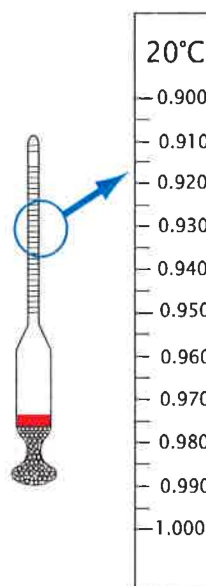


La ligne inférieure précisant congélation de l'eau 0°C est la ligne qui permet le réglage avec de l'eau distillée. La mise au point du 0°C se fait alors avec la vis de réglage.
La surface du prisme doit être rincée, puis essuyée délicatement avec un mouchoir en papier ou un chiffon doux après chaque contrôle.
Les conditions de prélèvement des liquides à contrôler doivent suivre les recommandations citées à la page suivante.

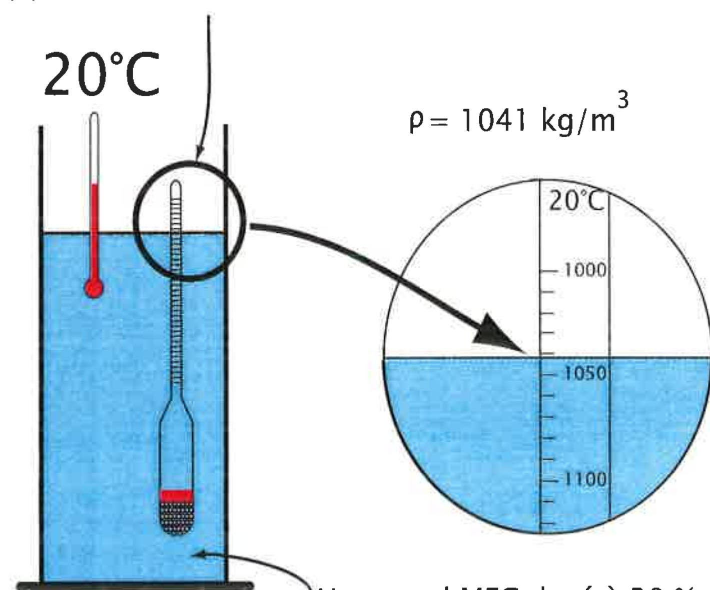
Contrôle de la masse volumique des liquides et détermination des points de congélation.



Masse volumique > à 1000 kg/m3 ou densité > à 1 (MPG, MEG, saumures, etc.)



Masse volumique < à 1000 kg/m3 ou densité < à 1 (alcali, huile,etc.).



Les densimètres ou aéromètres sont utilisés pour mesurer la masse volumique des liquides.

La détermination de la température de congélation nécessite :

- ⇨ la connaissance du produit et en particulier son dosage,
- ⇨ la possession des tables fournies par le fabricant.

Lieu de prélèvement du liquide : éviter les «bras morts» de tuyauteries et priviliégier le refoulement des pompes.

Méthode de prélèvement :

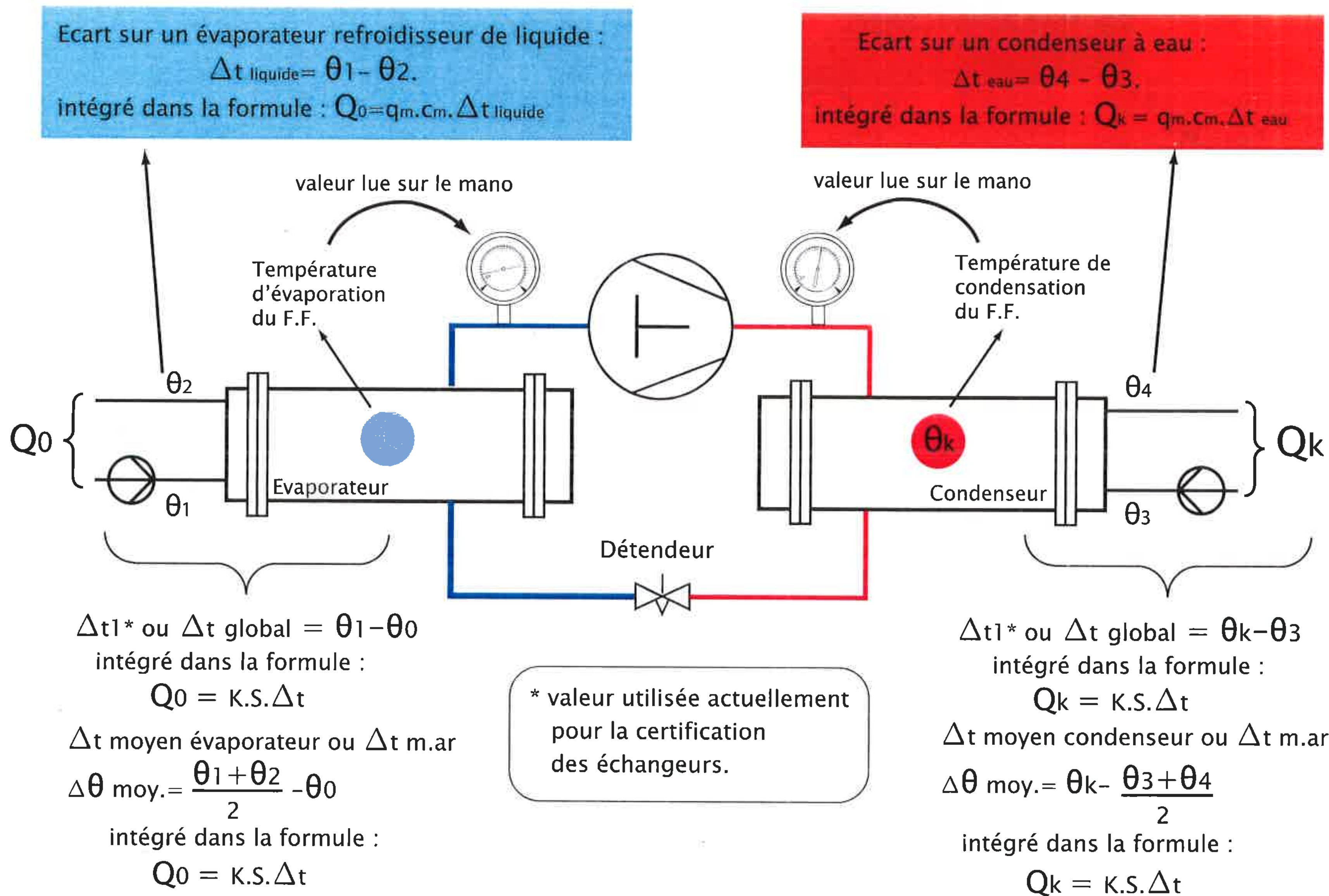
- ⇨ dans un récipient propre, soutirer environ 2 litres de liquide pour débarrasser la tuyauterie des dépôts qui pourraient fausser la mesure,
- ⇨ soutirer une seconde fois le liquide pour effectuer la mesure,
- ⇨ avant la mesure, brasser le liquide pour homogénéiser le mélange et la température,
- ⇨ plonger le densimètre délicatement dans le mélange, lire la masse volumique au niveau de flottaison.

La mesure la plus précise est lorsque le mélange et le densimètre sont à la même température (20°C pour ce densimètre).

Dans notre cas, la fiche du fabricant située à la page 361 nous donne un point de congélation à -16°C.

Les différences de températures usuelles ou Δt.

Cette page a pour objectif d'éviter toute confusion dans l'usage des Δt.



Soyez vigilants au Δt utilisé par les constructeurs sur leurs documentations.

Calculs se rapportant aux évaporateurs refroidisseur d'air.

La formule pour déterminer la puissance absorbée : $Q_0 = qm \cdot cm \cdot \Delta t$ ne peut s'appliquer pour ce type d'évaporateur.

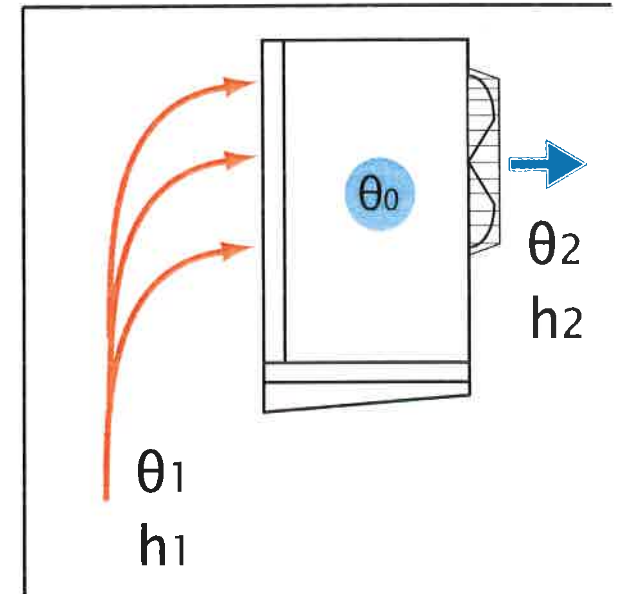
En effet lorsque la température de surface est ≤ à la température du point de rosée de l'air considéré, il y a déshumidification.

La déshumidification s'accompagne de formation de givre si la température de surface est ≤ 0 °C.

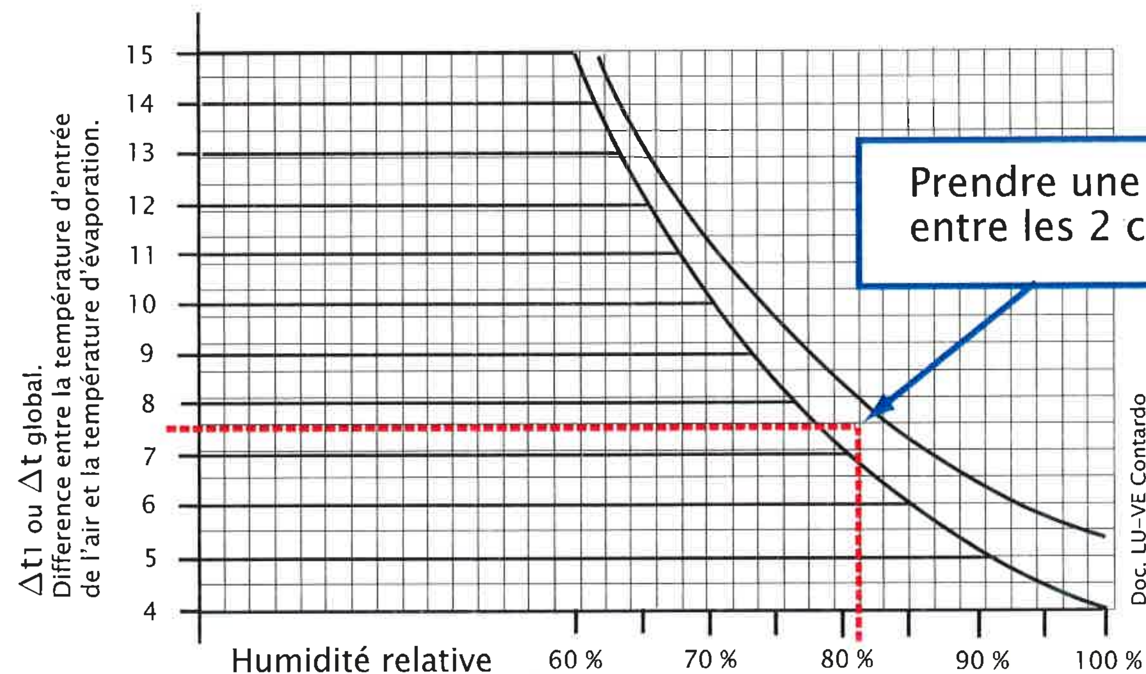
Comme vous le trouverez détaillé dans le chapitre climatisation, il convient d'utiliser une autre formule qui prend en compte les enthalpies de l'air entre son entrée et sa sortie de l'évaporateur.

$$Q_0 = (h1-h2) \cdot qm\ air$$

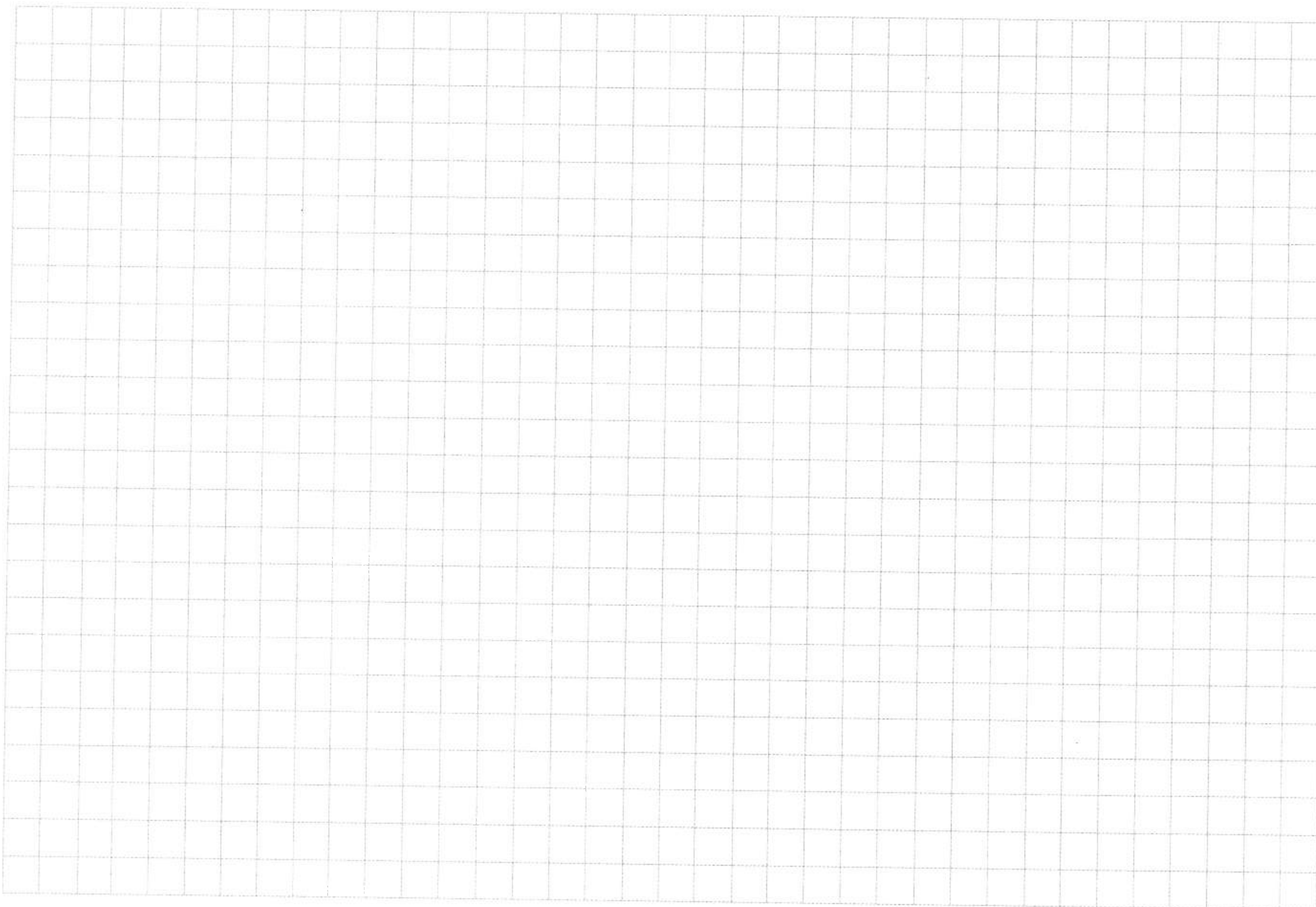
$$\text{ou } Q_0 = (h1-h2) \cdot qv \cdot \rho$$



Influence du Δ t sur le taux d'humidité d'une chambre froide.



Notes personnelles.



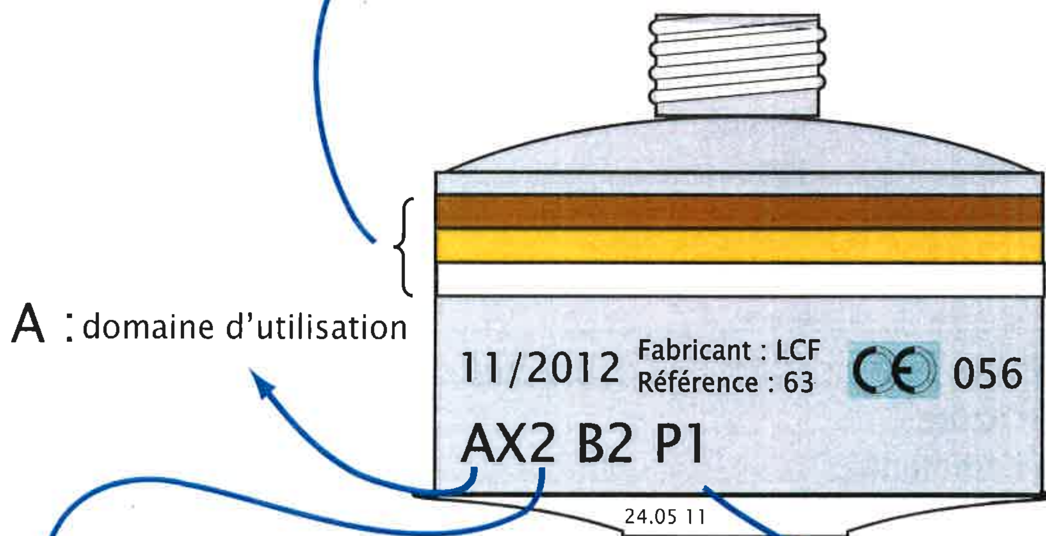
Les interventions sur les circuits.

Protection respiratoire : les filtres

Couleur caractéristique	Type	Domaines d'utilisation	
(marron)	A	Substances organiques point ébul. sup. 65 °C	
(marron)	AX	Substances organiques point ébul. inf. 65 °C	Les fluides frigorigènes usuels : R22, R134a, R404A, R600a, etc.
(gris)	B	Gaz et vapeurs inorganiques	Ils résultent de la décomposition thermique des fluides et produisent des gaz particulièrement toxiques : fluorure d'hydrogène, phosgène, oxydes de carbone, etc.
(jaune)	E	Gaz et vapeurs acides	
(vert)	K	Ammoniac	
Blanc	P	Aérosols	Aérosols solides et/ou liquides.

Date de péremption 11/2012

Date de mise en service : 24.05.11



P 1 ou FFP 1 (version jetable)

1 - 80 %
2 - 94 %
3 - 94,95 %
} Filtration minimale

P = Aérosols particules solides ou liquides.

1 : capacité de filtration

2 : classe du filtre.

C'est la capacité de piégeage du gaz. C'est un compromis entre le volume et l'efficacité du matériau absorbant.

classe 1 pour la plus faible capacité (galette)
classe 2 pour la capacité moyenne (cartouche)
classe 3 pour la plus grande capacité (bidon)

P1 : poussières gênantes, poussières fibrogènes non-toxiques.

P2 : poussières toxiques (bois, polyester...), fumées de soudure, brouillards d'huile.

P3 : poussières très toxiques (amiante, arsenic...) fumées de soudage, brouillards d'huile, **les léglonelles.**

Protection respiratoire : les appareils filtrants.

Ces matériels comportent un masque assurant la protection oculaire et un filtre interchangeable pour purifier l'air respiré.
Deux types de protection : les filtres anti-gaz et les filtres anti-aérosols (particules solides ou liquides).
Les constructeurs proposent des filtres polyvalents agissant sur plusieurs gaz et/ou sur des aérosols.
La page de gauche présente les domaines d'utilisation, les classes et les capacités de filtration.

Mise en garde.
L'air ambiant contient 21 % d'oxygène, lors d'une fuite, le fluide frigorigène prend la place de l'oxygène. Le taux d'oxygène tend à baisser au point que l'air inhalé devient dangereux pour l'intervenant.

La limite d'utilisation des appareils filtrants est de 17 % d'oxygène.

Seule une mesure avec un oxygénomètre renseigne sur le taux réel. Dans le doute, utiliser un appareil isolant (A.R.I.).

Temps d'utilisation d'un filtre ?
Il n'y a pas de moyens homologués pour vérifier la saturation, cependant 2 observations :
- ⇨ pour la cartouche «K», la saturation se traduit par l'odeur gênante d'ammoniac,
- ⇨ pour les filtres à particules, c'est la gêne respiratoire (débit) qui informe sur l'état du filtre.

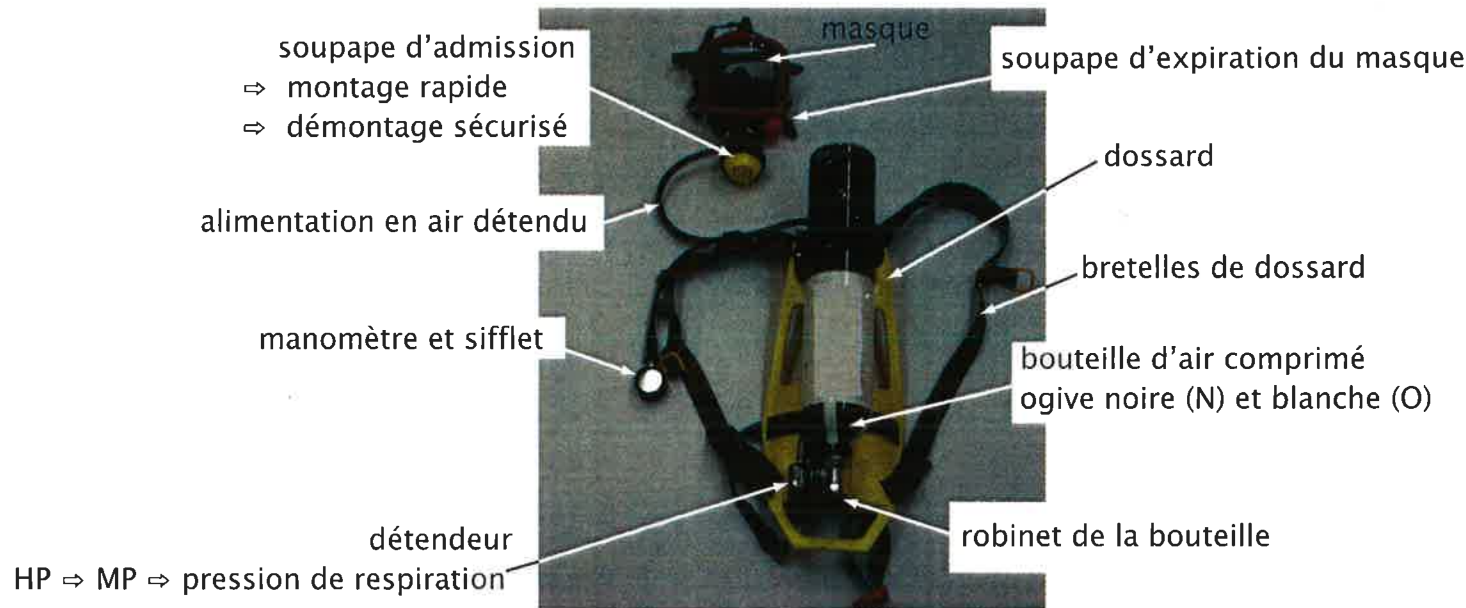
Important.
La réutilisation d'un filtre sur une pollution différente peut libérer le premier polluant piégé.
Une gestion rigoureuse des filtres évite un tel problème.
La chaleur amplifie le phénomène de transformation des fluides frigorigènes, ce qui peut donner naissance au phosgène particulièrement irritant et toxique.
Installation à l'ammoniac : il est recommandé de porter en bandoulière un masque équipé d'un filtre de type "K".
Les HCFC et HFC sont plus lourds que l'air, la vigilance doit augmenter lors d'interventions en espaces confinés (CF, fosse, cale de bateau, etc.).

Contrôle d'étanchéité du masque.

- ⇨ allonger les sangles au maximum,
- ⇨ placer le masque sur le visage,
- ⇨ passer les sangles sur la tête,
- ⇨ tendre les sangles afin d'obtenir une pression du bord du masque sur le visage,
- ⇨ boucher avec la main l'entrée d'air du filtre,
- ⇨ RESPIRER :
  → le masque doit se plaquer sur le visage.



Appareil Respiratoire Isolant à circuit ouvert. A.R.I.



Capacité d'une bouteille d'air comprimé.

La bouteille de l'ARI a une contenance de 4 litres à 200 bar.
Que deviennent ces 4 litres lorsqu'ils sont détendus à la pression atmosphérique ?

La loi de Mariotte énonce qu'à température constante :

$$P1 \times V1 = P2 \times V2$$

P1 = pression dans la bouteille,
V1 = capacité de la bouteille,
P2 = pression de respiration ≅ pression atmo.,
V2 = volume occupé par l'air à la pression atmo.

Ces quatre litres à 200 bar représentent donc :

200 bar x 4 litres = 1 bar (P.atmo.) x ? litres

soit : $\frac{200 \times 4}{1}$ = 800 litres à la pression atmosphérique.

Consommation d'air.

Dans les circonstances "normales", la respiration oscille entre 12 et 15 litres par minute.
Lors d'intervention (stress, efforts...), la consommation peut doubler, soit 30 l/min.
Par mesure de sécurité, on admet 50 l/min.

Temps d'intervention.

Pour intégrer une éventuelle erreur du manomètre, on soustrait 10 % à la pression de la bouteille.

$\frac{180 \text{ bar} \times 4 \text{ litres}}{1}$ = 720 litres à la P. atmosphérique

Temps d'intervention : $\frac{720 \text{ litres}}{50 \text{l/min}}$ ≅ 15 minutes

Durant l'utilisation, la pression s'abaisse régulièrement, quand celle-ci atteint 50 bar, un sifflet retentit pour indiquer qu'il reste environ 4 minutes pour quitter le site.

Appareil Respiratoire Isolant à circuit ouvert. A.R.I.

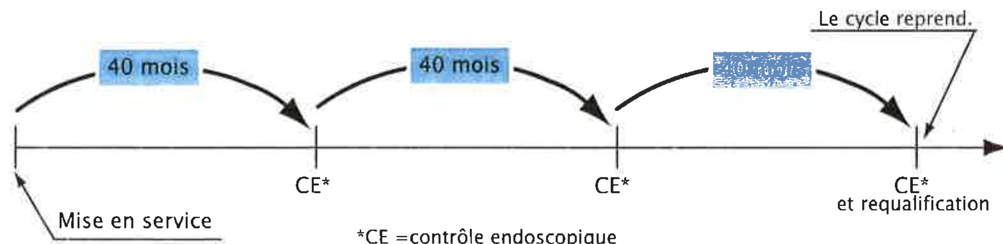
L'emploi de masque à cartouche correspond à une utilisation préventive ou à des opérations de maintenance.
Des interventions plus importantes impliquent l'usage d'un appareil respiratoire isolant à circuit ouvert : A.R.I.
Les A.R.I. répondent à trois conditions :

- ⇨ isoler les voies respiratoires du milieu ambiant,
- ⇨ fournir l'air destiné à sa respiration sans dépendance extérieure,
- ⇨ assurer la protection visuelle.

Les bouteilles contiennent de l'air comprimé à 200 ou 300 bar.
Deux détentes permettent d'atteindre une pression légèrement supérieure à la pression atmosphérique.

Première détente : 200 bar ⇨ 7 bar. Seconde détente : 7 bar ⇨ ≅ pression atmosphérique.

Afin d'éviter des accidents de surpression, l'A.R.I. est vérifié au moins une fois par an par un organisme accrédité.
Quant aux bouteilles, elles suivent une autre périodicité de contrôle (voir ci-dessous).



Pour augmenter les temps d'intervention, d'autres équipements sont proposés :

- **⇨ des A.R.I avec 2 bouteilles,**
- **⇨ des bouteilles plus grandes : 6 ou 9 litres,**
- **⇨ des pressions plus élevées (300 bar).**

Dans nos professions, les A.R.I. sont utilisés pour intervenir sur des installations :

- ⇨ à l'ammoniac,
- ⇨ au CO_2,
- ⇨ dans les stations fruitières saturées en azote.



Parfois, une combinaison complète la protection, c'est le cas avec l'ammoniac qui agresse les muqueuses, cependant une aide est nécessaire pour enfiler la combinaison et l'A.R.I.
Deux versions sont proposées :
l'ARI est en dessous de la combinaison ou au-dessus (photo de droite).
L'air expiré reste dans la combinaison qui se trouve donc en légère surpression, faisant ainsi barrage aux produits toxiques.
Sur la photo de gauche, l'A.R.I. est porté sur un vêtement de travail, mais l'intervenant utilise des gants protecteurs du froid et des agents chimiques.



Le recours à la combinaison dépendra de la gravité et/ou de l'urgence.

L'ammoniac. R717. NH_3.

L'ammoniac est un produit naturel qui a son origine dans la putréfaction de l'ensemble des êtres vivants.
La production naturelle est évaluée à 3 000 000 000 tonnes/an au monde. La production industrielle, réservée principalement à l'élaboration d'engrais, est proche de 120 000 000 tonnes/an au monde.
L'ammoniac destiné à l'industrie frigorifique est d'une pureté de 99,98 %, elle représente 2 000 000 tonnes/an au monde.

Ses caractéristiques.

Point d'ébullition. La température d'ébullition est de -33,4°C à la pression atmosphérique normale (101325 Pascal).

⇒les projections occasionnent des brûlures cutanées ou oculaires.

Les risques de brûlures sont identiques avec les autres fluides frigorigènes.

Température critique : +132,4 °C . **Pression critique** : 11425 kPa (114,25 bar abs.)

Position dans l'air.

Il est 1,7 fois plus léger que l'air.
Il faut donc être vigilant :

- ⇒ pour les interventions en hauteur,
- ⇒ pour l'accès aux stations de vannes dans les combles,
- ⇒ pour ne pas créer des voies sans issue qui pourraient être fatales aux techniciens non-équipés,
- ⇒ pour positionner les détecteurs en hauteur.

La ventilation se situera donc au point haut des salles des machines.
Les purges d'incondensables se feront au point bas du circuit HP.

Potentiel d'hydrogène : le pH est de 11,4 c'est donc une base.

Lors de projections cutanées ou oculaires, il amplifie l'effet de brûlure.

Action sur les matériaux.

La plupart des matériaux usuels restent insensibles à l'ammoniac anhydre.
Cependant, certains matériaux sont détériorés comme :

- ⇒ le cuivre et ses alliages, bronze et laiton,
- ⇒ l'argent, qui pourrait être présent dans une brasure,
- ⇒ le mercure,
- ⇒ le zinc.

Le zinc recouvre :

- les faisceaux tubulaires des condenseurs évaporatifs,
- les évaporateurs noyés.

Ce procédé s'appelle la galvanisation.

Lors d'une fuite d'ammoniac dans l'eau ou dans la saumure, le pH peut attteindre 9. A cette valeur, le zinc est détruit, la couche protectrice disparaît, les aciers se corrodent .
Le contrôle par pH-mètre est un moyen efficace pour détecter la présence d'ammoniac en milieu humide.

ıde.

L'homme et l'ammoniac.

L'ammoniac est particulièrement toxique.

En cas de fuite, il génère deux types d'effets.

1 . Les effets physiques et physiologiques :
- ⇨ atteinte pulmonaire, elle dépend des concentrations respirées et du temps d'exposition,
- ⇨ brûlures thermiques et chimiques dues à des projections.

2 . Les effets comportementaux :

La respiration d'air chargé de vapeur d'ammoniac peut entraîner des comportements de panique,
- ⇨ mouvement de recul en haut d'une échelle,
- ⇨ évacuation précipitée d'une salle des machines.

Les intervenants doivent mesurer les risques et adapter leurs moyens de protection à la situation.
La connaissance des circuits et de l'état du fluide évitent les "mauvaises surprises".

La prévention dépend de mesures de bon sens :
- ◉ les interventions se réalisent avec des gants et un masque dont la cartouche n'est pas périmée,
- ◉ les issues de secours doivent être dégagées,
- ◉ la salle des machines doit être libre de tout obstacle qui gênerait la sortie,
- ◉ un sol propre évite les glissades,
- ◉ le matériel doit être entretenu, bien utilisé et protégé.

La concentration minimum de la détection olfactive se situe à 5 ppm soit 3,5 mg/m^3.
Des Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle (VLEP) dans l'air des locaux de travail ont été établies au niveau français pour l'ammoniac anhydre. C'est l'article R231.58 du code du travail paru au JO du 9.02.06 qui limite les concentrations en rapport avec le temps d'exposition :

⇨ 10 ppm soit 7 mg/m^3 pendant 8 heures,
⇨ 20 ppm soit 14 mg/m^3 pendant 15 minutes.

Deux pathologies sont peu conciliables avec l'usage de l'ammoniac :
- ⇨ l'anosmie, qui est un trouble de la détection olfactive,
- ⇨ la claustrophobie, le port du masque ou du scaphandre déclenche un malaise et la peur.

Recommandations :
- ⇨ les porteurs de lentilles de contact doivent utiliser des verres correcteurs s'ils risquent d'être exposés à des vapeurs d'ammoniac.
- ⇨ les sujets atteints d'affections cutanées, cardio-pulmonaires chroniques ou de troubles digestifs doivent être éloignés des postes comportant un risque d'exposition.

En cas d'aspersion d'ammoniac, le seul remède pour attendre les secours est d'arroser en continu les zones touchées avec de l'eau potable et réchauffée.

Vannes de service.



Les vannes de service sont des vannes 3 voies, elles sont solidaires des compresseurs, des séparateurs d'huile, des réservoirs de liquide, etc.

Deux voies principales :

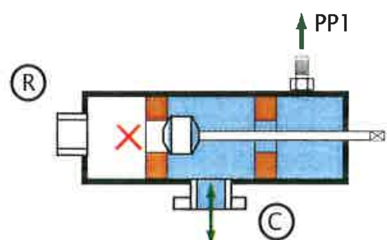
⇒ Repère – C– C'est la liaison avec un compresseur (C) ou une capacité.
La connexion s'opère par bride, par brasure ou par raccord à visser du type "Rotabloc".

⇒ Repère –R– C'est la liaison tubulaire avec le réseau. La connexion s'opère par raccord flare, par brasure ou par brides.

Une ou 2 voies de petites sections :

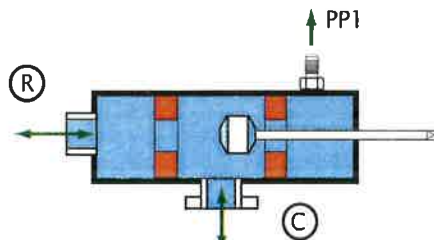
⇒ Repère – PP1 – Prise de pression destinée aux raccordements des appareils de mesure, de sécurité ou de régulation.

⇒ Repère – PP2 – **Cette prise de pression ne peut être isolée du circuit.** Elle est utilisée pour le raccordement d'appareils dont la mise hors-service nuirait à la sécurité (pressostat HP, etc.).

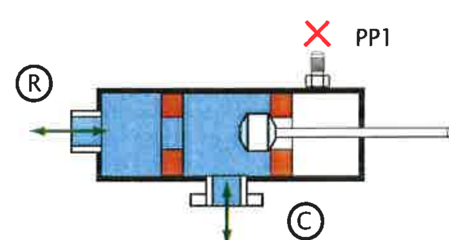


Vanne fermée "sur l'avant"

Position obtenue en vissant la tige de clapet.



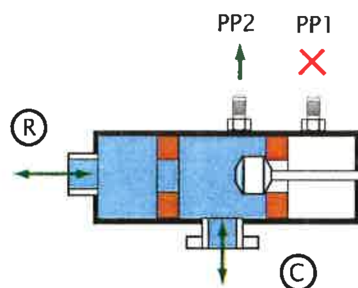
Vanne en position "lecture".
Le clapet réduit le passage pour atténuer les pulsations.



Vanne fermée "sur l'arrière"

Position obtenue en dévissant la tige de clapet.





Vanne fermée "sur l'arrière".
La prise de pression PP2 est impérativement en liaison avec le réseau.

Vanne de service

Bouchon obturateur



Robinet à trois voies
ou de jumelage.
Le côté noir est fermé.

Nota : aucune position ne permet d'isoler la voie Ⓒ

sseurs,

sser

par

de

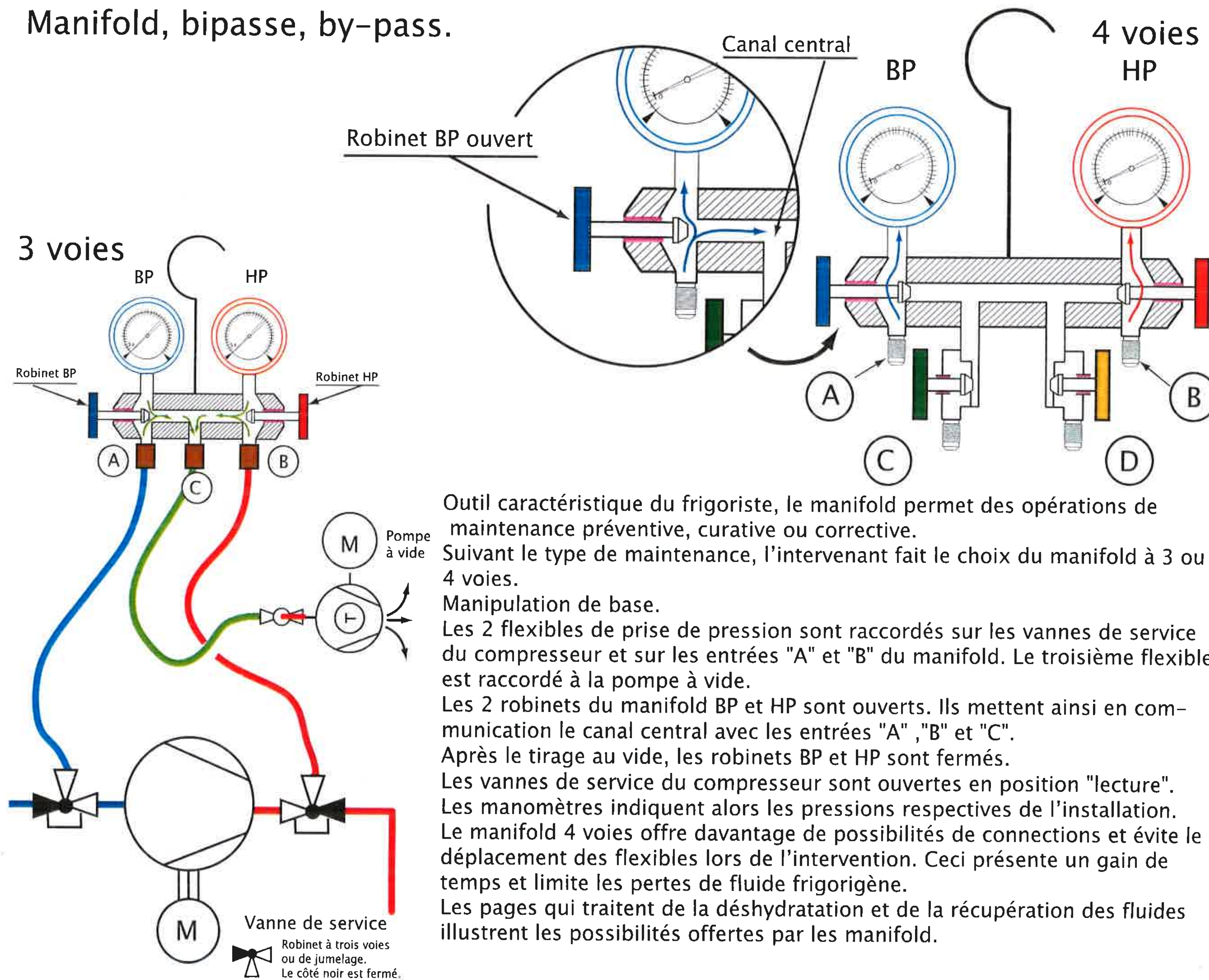
e

ce

ur

ié.

Manifold, bipasse, by-pass.



Outil caractéristique du frigoriste, le manifold permet des opérations de maintenance préventive, curative ou corrective.

Suivant le type de maintenance, l'intervenant fait le choix du manifold à 3 ou 4 voies.

Manipulation de base.

Les 2 flexibles de prise de pression sont raccordés sur les vannes de service du compresseur et sur les entrées "A" et "B" du manifold. Le troisième flexible est raccordé à la pompe à vide.

Les 2 robinets du manifold BP et HP sont ouverts. Ils mettent ainsi en communication le canal central avec les entrées "A" ,"B" et "C".

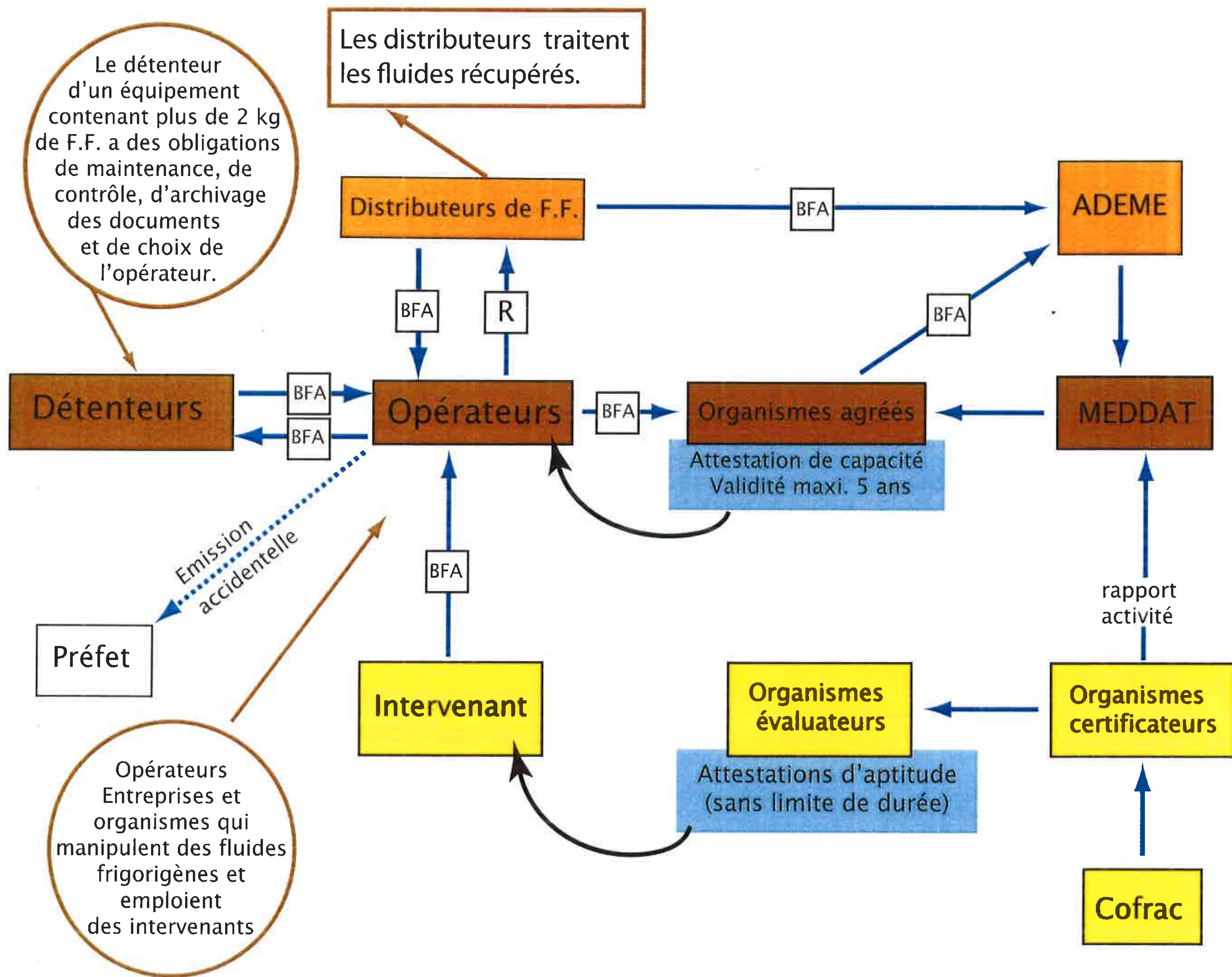
Après le tirage au vide, les robinets BP et HP sont fermés.

Les vannes de service du compresseur sont ouvertes en position "lecture".

Les manomètres indiquent alors les pressions respectives de l'installation.

Le manifold 4 voies offre davantage de possibilités de connections et évite le déplacement des flexibles lors de l'intervention. Ceci présente un gain de temps et limite les pertes de fluide frigorigène.

Les pages qui traitent de la déshydratation et de la récupération des fluides illustrent les possibilités offertes par les manifold.



Régl

Les d
proto
Les ir
articl
To

Le tal

Perso
Il obt
des t
A l'av
progi

Suiva

Le dé

Sigl
R : re

BFA

MEEI

COFI

ADE

Réglementation sur l'utilisation des fluides frigorigènes.

Les doutes concernant l'effet du chlore sur l'appauvrissement de l'ozone stratosphérique ont conduit 92 pays à ratifier le protocole de Montréal en septembre 1987. Depuis, bien des mises à jour ont suivi, Londres, Copenhague, etc...
Les instances européennes ont élaboré divers règlements. La France, quant à elle, a intégré au code de l'environnement les articles N° 543.75 à 125 qui traitent en particulier de notre environnement professionnel.

Tous les acteurs ayant un lien avec du fluide frigorigène connaissent à ce jour leurs obligations.

Le tableau de la page de gauche est la synthèse des relations et des actions imposées par le nouveau "décret fluide".

Personnel intervenant : c'est le technicien qui manipule le fluide frigorigène pour le compte d'un opérateur (son entreprise) Il obtient, à vie, son attestation d'aptitude lors d'une évaluation théorique et pratique. A chaque catégorie, correspondent des tests qui valident les capacités de l'intervenant. Il ne peut exercer que l'activité pour laquelle il est validé.
A l'avenir, les diplômés de certaines formations auront l'attestation de capacité pour la catégorie intégrée dans le programme d'études. En l'absence de diplôme, l'attestation sera obtenue dans les conditions actuelles.

Suivant la catégorie validée, l'opérateur met à la disposition de l'intervenant l'outillage exigé par le "décret fluide" (p 221).

Le détenteur d'un équipement devient un acteur avec des obligations:

- choix d'un opérateur disposant d'une attestation de capacité,
- suivi périodique de l'équipement,
- gestion des documents relatifs à l'étanchéité et aux contrôles.

Sigles et abréviations :

R : récupération. Elle représente les mouvements de fluides récupérés en vue d'une destruction ou d'une remise en conformité avec les spécifications d'origine.

BFA : bilan fluide annuel. Le bilan regroupe toutes les informations qui ont un rapport avec le fluide frigorigène. Sur les documents, figurent la nature, les quantités, la destination, la récupération ou l'introduction de fluide vierge.

MEEDDM : Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer.

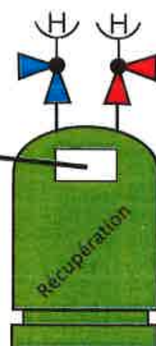
COFRAC : Comité français d'accréditation.

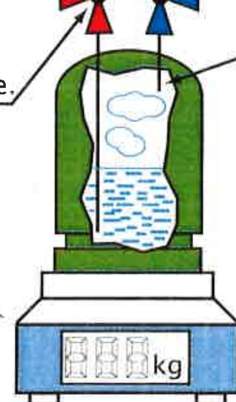
ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.

Matériel pour la récupération du fluide frigorigène.



Volume : 27,2 L
Tare : 14 kg
P : 24 bar
N° bouteille :
Quantité stockée : kg
22 kg R404A /25 kg R407C
28 kg R22 / 28 kg R 134a









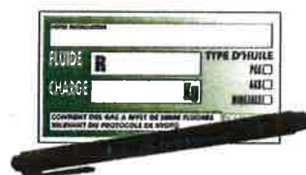
Montage des obturateurs :

⇒ raccorder le flexible en A
⇒ visser l'écrou -B- sur le raccord Schräder -C-
⇒ clipser -D- suivant la flèche.

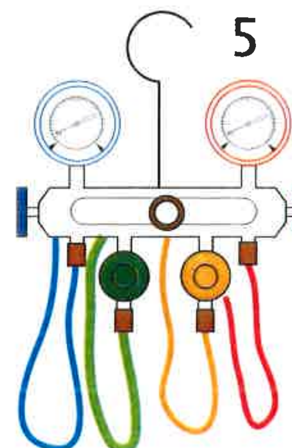














euse.

r
%

Doc. ITE

Familles d'activités, catégories d'activités, outillage exigé pour l'obtention de l'attestation* de capacité.

Outillage exigé	Catégories	Contrôle étanchéité	Maintenance et entretien	Mise en service	Récupération des fluides	
1 – Station de charge et de récupération conforme NF EN 35421. 2 – Bouteilles de récupération par type de fluide. 3 – Détecteur de fuites conforme à la norme NF EN 14624 (**). 4 – Raccords flexibles avec obturateurs. 5 – Manomètres. 6 – Thermomètre électronique. 7 – Balance de précision 5%. 8 – Matériel de marquage.	I	Toutes charges	Toutes charges	Toutes charges	Toutes charges	Famille 1
	II	Toutes charges	Moins de 2 kg	Moins de 2 kg	Moins de 2 kg	Famille 1
1 – Station de charge et de récupération conforme NF EN 35421. 2 – Bouteilles de récupération par type de fluide. 5 – Manomètres. 7 – Balance de précision 5 %.	III	Non autorisée	Non autorisée	Non autorisée	Moins de 2 kg	Famille 1
3 – Détecteur de fuites conforme à la norme NF EN 14624 (**). 5 – Manomètres. 6 – Thermomètre électronique.	IV	Toutes charges	Non autorisée	Non autorisée	Non autorisée	Famille 1
Station de charge et de récupération compacte ou en éléments séparés. Matériel de détection des fuites adapté aux systèmes de climatisation de véhicules. Thermomètre et balance de précision 5%. Tableau mis à jour des charges en fluide et en huile des véhicules.	V	Toutes charges	Toutes charges	Toutes charges	Toutes charges	Famille 2



Fréquence des contrôles d'étanchéité.

Charge > à 2 kg	1 fois tous les 12 mois
Charge > à 30 kg	1 fois tous les 6 mois
Charge > à 300 kg	1 fois tous les 3 mois

Famille 1 : secteur réfrigération-climatisation, hors secteur automobile.
Famille 2 : secteur automobile
*l'attestation de capacité est délivrée à l'opérateur pour une durée maximale de 5 ans.
** Détecteur de fuites. Sensibilité de 5g/an. Dérive < à 10 %.

Refroidissement de la bouteille et récupération du F.F. sur le circuit HP.

Pompe à vide

M

Doc. GALAXAIR

RD2100

G

L

G

G

L

kg

M

TC

Equipement à vider

Vanne de service

Robinet à trois voies ou de jumelage. Le côté noir est fermé.







L'équipement à vider est arrêté et consigné.

Les conditions de température extérieure ne sont pas toujours favorables pour la récupération du fluide.
Les stations de récupération sont munies de pressostat HP pour ne pas atteindre le point de coupure, le refroidissement de la bouteille peut s'avérer utile.
Le refroidissement s'obtient en transformant momentanément en évaporateur la bouteille de récupération qui doit déjà contenir du liquide.

La situation de refroidissement est repérée par les flèches pleines.

Lors du refroidissement, le circuit à vider est isolé par la fermeture de tous les robinets du manifold.
La phase de refroidissement terminée, la récupération peut reprendre, les circuits sont repérés par les flèches en pointillé.
La procédure sera calquée sur la récupération présentée sur la page de droite .

Si l'intervention ne concerne pas le circuit BP, il sera isolé avec les vannes de service à l'identique du schéma ci-contre.

Ré

Equi

Récupération totale du fluide d'un équipement.





Pompe à vide

M

L/G

Doc. GALAXAIR

V

G

L

Equipement à vider

Vanne de service

Robinet à trois voies ou de jumelage.
Le côté noir est fermé.

Circonstances : changement de fluide ou démentèlement d'équipement.

L'équipement à vider est arrêté et consigné.

Etape 1 : mise en place des flexibles, les 3 vannes de service ont été fermées sur "l'arrière".

Etape 2 : les flexibles sont tirés au vide.

Etape 3 : les vannes de service sont mises en position intermédiaire.

Etape 4 : la récupération commence par la phase liquide (flexible jaune).
La station de récupération est alors sur la position "récupération liquide".

Etape 5 : la récupération se poursuit en phase gazeuse.
La station de récupération est sur la position : "récupération vapeur ou gaz".
La récupération est terminée lorsque :

- ⇨ la BP de la station est très basse,
- ⇨ au voyant, le liquide ne passe plus.

Etape 6 : la station de récupération est positionnée sur "purge" afin d'éliminer le fluide frigorigène des flexibles.

En l'absence de balance, un voyant "V" est utile pour indiquer le remplissage de la bouteille de récupération à 80 % de son volume.
Cette pratique suppose une attention toute particulière de l'intervenant.

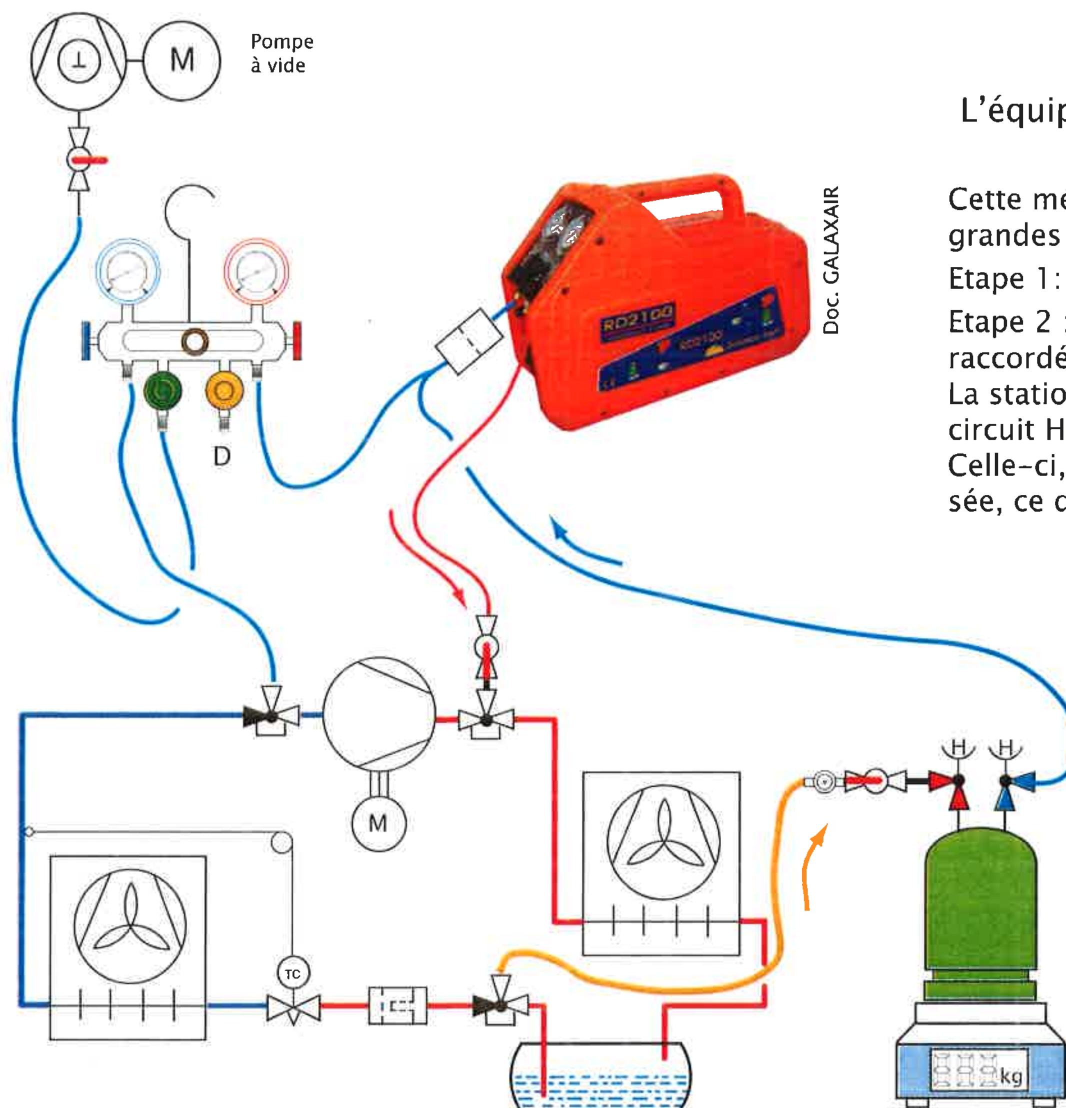
Article R543-88 : lors du démentèlement d'un équipement, le retrait et la récupération de l'intégralité du FF sont obligatoires.

Récupération par surpression du liquide.





L'équipement à vider est arrêté et consigné.



Cette méthode par surpression convient pour de grandes quantités de liquide à récupérer.

Etape 1 : tirage au vide des flexibles.

Etape 2 : transfert du liquide, les flexibles sont raccordés selon le schéma ci-contre.
La station de récupération met en surpression le circuit HP, le liquide s'écoule alors vers la bouteille.
Celle-ci, raccordée en BP à la station, est dépressurisée, ce qui favorise le transfert.

Etape 3 : la récupération du fluide se poursuit en phase vapeur.

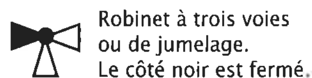
Le déplacement de 2 flexibles est nécessaire:

- ⇒ le flexible jaune est connecté en "D" sur le manifold.
- ⇒ le flexible rouge est connecté sur la bouteille de récupération.

Ceci est possible sans perte de fluide car les flexibles sont munis de vannes d'isolement.

Etape 4 : la station de récupération est positionnée sur "purge" afin d'éliminer le fluide frigorigène des flexibles.

Vanne de service



Robinet à trois voies
ou de jumelage.
Le côté noir est fermé.

Dans certaines circonstances, il peut être judicieux de pressuriser le liquide avec de l'azote. L'intervenant doit veiller à limiter l'entrée d'azote dans la capacité de récupération (incondensable).

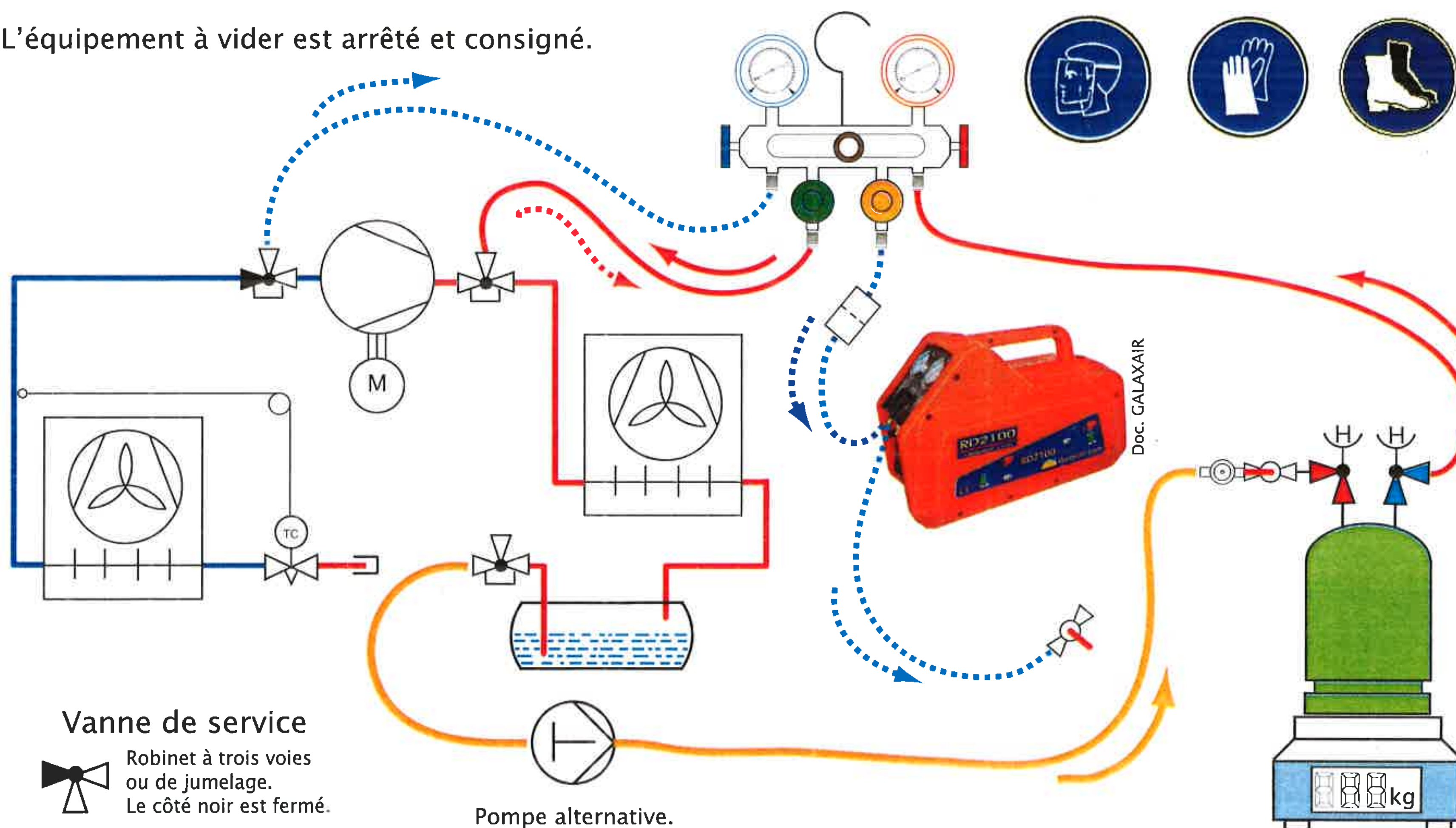
Récupération avec une pompe.

C'est le moyen le plus rationnel pour la récupération de grandes quantités de fluide frigorigène en phase liquide. Les pompes alternatives à pistons ne craignent pas l'aspiration de phase gazeuse contrairement aux pompes centrifuges. Le déplacement du piston est parfois obtenu par un gaz comprimé (air ou azote).

Phase 1 : la pompe aspire le liquide dans le réservoir et le refoule dans la bouteille de récupération (flexibles jaunes), le dégazage est indispensable pour éviter toute surpression dans la bouteille (flexibles rouges).

Phase 2 : après le transfert du liquide, la station de récupération est utilisée pour vider l'équipement en phase vapeur. Le flexible bleu, équipé d'un robinet, prend la place du flexible jaune sur la bouteille. La récupération en phase gazeuse correspond aux circuits en pointillé.

Phase 3 : la station de récupération est positionnée sur "purge" afin d'éliminer le fluide frigorigène des flexibles.



Tension de la vapeur d'eau en fonction de sa température

°C	mbar abs.
100	1013,9
90	700
80	473
70	311
60	199
50	123,35
40	73,746
30	42,421
20	23,374
15	17,046
10	12,275
6	9,348
5	8,722
4	8,132
2	7,057
0	6,104
-5	4,21
-10	2,85
-15	1,90
-20	1,02
-25	0,67

Sublimation de la glace

Correspondance des unités utilisées pour mesurer le vide. Pressions absolues.

Pascal (Pa)	mbar ou hPa	Torr ou mmHg	Microns µ	Pouce Hg In.Hg
101325	1013,25	760	760000	29,92
50000	500	375	375000	14,76
30000	300	225	225000	8,85
10000	100	75	75000	2,95
5000	50	37,5	37500	1,47
2000	20	15	15000	0,59
1000	10	7,5	7500	0,295
500	5	3,75	3750	0,147
100	1	0,75	750	0,0295
10	0,1	0,075	75	0,00295
1	0,01	0,0075	7,5	0,000295

Mise au vide des circuits frigorifiques.

La mise au vide ou "tirage au vide" intervient entre le contrôle d'étanchéité et l'isolation thermique de l'installation.

Ce tirage au vide a pour objectifs :

⇒ d'éliminer les incondensables (air, azote) qui génèrent une pression de condensation élevée,

⇒ de supprimer l'humidité par évaporation. Cette humidité est à l'origine de contamination des circuits frigorifiques.

Seules les pompes à vide sont en mesure d'atteindre ces 2 objectifs.

Unités utilisées pour mesurer le vide.

Ce qui est dénommé "vide", c'est la pression qui règne dans un circuit au-dessous de la pression atmosphérique. Pour éviter toute confusion, il est souhaitable d'utiliser des pressions absolues.

Rappels :

L'unité légale de pression est le Pascal (Pa). Sa valeur $1 N/1 m^2$ est faible, alors le bar, qui représente 10^5 Pa, est utilisé. Pour mesurer un vide, le mbar est approprié, mais d'autres unités sont encore employées telles que le Torr, le mm de Hg, le micron (millième de mm de Hg), ainsi que les unités anglo-américaines.

Conversions des unités : 1 mbar = 100 Pa =1 hPa = 0,75 Torr = 0,75mm Hg = 750 microns (μ) = 0,0295 in Hg. (in= inch)

Seule l'expression des pressions en Pascal ou en bar est autorisée, les autres unités sont citées à titre indicatif.
L'usage du mercure est maintenant prohibé en raison de sa toxicité et du risque de pollution.

Déshydratation des circuits.

Le tableau de la page de gauche met en corrélation la pression et la température d'évaporation de l'eau. Dès que la pression du réseau est inférieure à la tension de vapeur de l'eau, il y a évaporation. Ce tableau met en évidence la nécessité d'avoir des réseaux les plus chauds possibles.
Les critères qui influent sur le temps pour atteindre la pression souhaitée sont : le débit volume de la pompe, le niveau de pression entretenue par la pompe, la température du réseau et la quantité d'eau piégée dans l'installation.

Pression à atteindre et analyse des résultats.

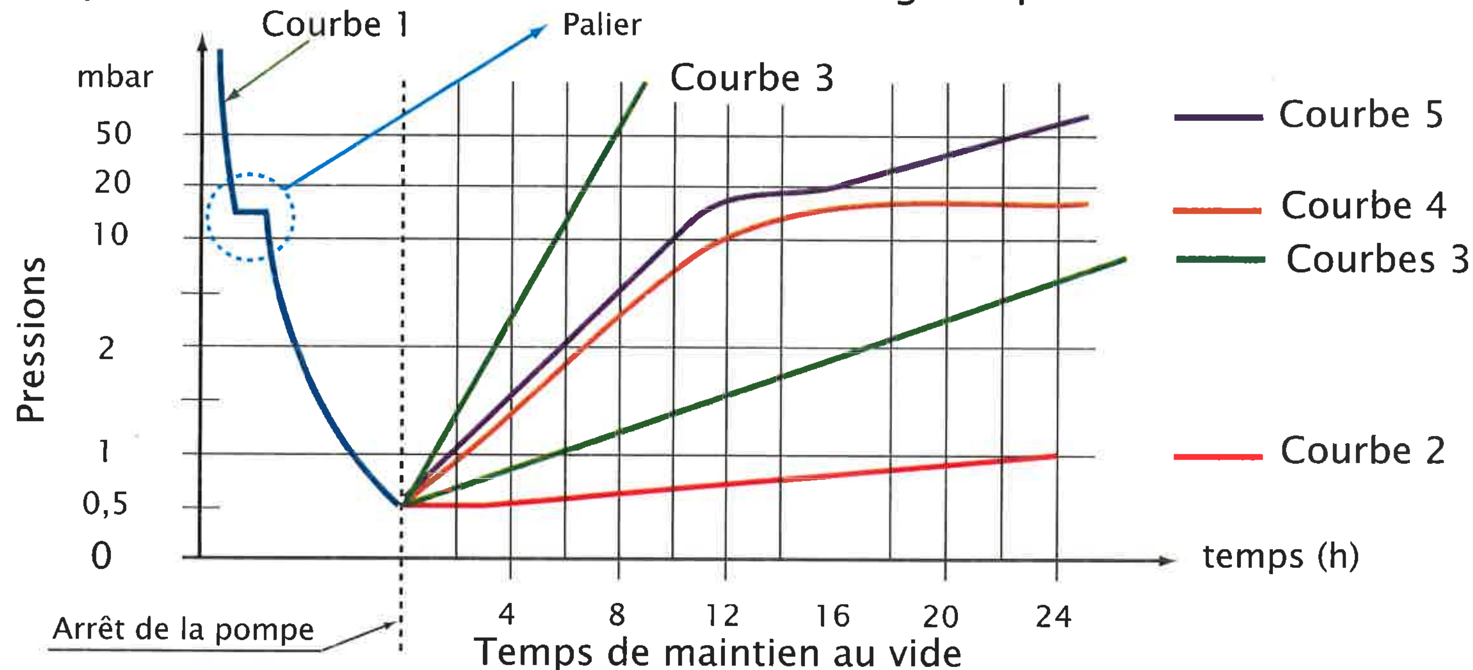
Pour tous les fluides frigorigènes, il est souhaitable d'atteindre la pression de 0,5 mbar. A cette pression, la pompe à vide est arrêtée et isolée du circuit.

Après 24 heures, la remontée de pression ne doit pas excéder 0,5 mbar, la pression finale est alors de 1 mbar.

Le graphique de la page suivante présente les différentes évolutions. Des relevés réguliers du vacuomètre permettent de tracer la courbe correspondant à la situation.

Le tirage au vide nous renseigne à la fois sur l'étanchéité et sur le niveau de déshydratation du circuit.

Etat de déshydratation et d'étanchéité d'un circuit frigorifique.



1 mbar = 0,75 Torr = 0,75 mm Hg = 750 microns -µ-

Courbes obtenues par la lecture régulière du vacuomètre placé sur l'installation:

Courbe 1 : c'est la baisse de pression dans le circuit, son allure dépend du volume de l'installation, de sa température, du débit de la pompe à vide et de la quantité d'eau piégée lors du montage. Le palier représente l'évaporation de l'eau lorsque la pression atteint la tension de vapeur correspondant à la température du réseau (⊠ 17/18°C dans l'exemple).

Courbe 2 : le circuit peut être considéré comme étanche et déshydraté. Après l'arrêt de la pompe, on admet une remontée de 0,5 mbar sur 24 heures.

Courbes 3 : le circuit n'est pas étanche, l'air pénètre dans l'installation. La pente de la courbe révèle la taille de la fuite.

Courbe 4 : toute l'eau n'est pas évaporée, la pression se stabilise en fonction de la température du réseau.

Courbe 5 : 2 anomalies sont détectables sur cette courbe, la présence d'eau matérialisée par le palier et une remontée de la pression qui, à terme, s'équilibrera avec la pression atmosphérique.

Matériels nécessaires pour la mise au vide.

Les pompes.

Les pressions de 0,5 à 1 mbar (abs.) indispensables pour la déshydratation des circuits sont obtenues par des pompes à vide à double étages.

Caractéristiques des pompes à vide :

⇒ la pression à atteindre est d'environ 0,033 mbar (25 µ),

⇒ le débit volume de la pompe se situe entre 10 et 30 m³/h. Ces pompes couvrent nos utilisations.

Nota : avec un grand débit volume, la descente en pression est trop rapide et favorise la prise en glace de l'eau.
La sublimation de la glace étant plus longue que l'évaporation, un faible débit de pompe est acceptable.
Pour conserver leur efficacité, les pompes à vide doivent faire l'objet d'une maintenance suivie.
L'huile est le point crucial :

⇒ en qualité, n'utilisez que l'huile préconisée par le fabricant, une huile mal adaptée s'évapore au vide,

⇒ en quantité, vérifiez le niveau d'huile avant, pendant et après le tirage au vide,

⇒ en propreté, il en va de l'efficacité de la pompe. Une huile saturée d'humidité réduit les performances.

Le tirage au vide doit commencer par la lecture de la notice du constructeur.

Les flexibles de raccordement.

Pour conserver les performances de la pompe, il est souhaitable d'utiliser des flexibles de raccordement :

⇒ de petites longueurs,

⇒ de grandes sections.

Comme pour la pompe à vide, ces flexibles feront l'objet d'un soin particulier avec l'emploi de bouchon de fin de ligne, évitant ainsi toute pollution intérieure.

Le contrôle du vide.

Les manomètres des installations, par manque de précision, ne conviennent pas pour le contrôle du vide.
Pour cette opération, des vacuomètres à membrane, à aiguille ou électronique seront mis en place. Leur plage s'étend de la pression atmosphérique au vide absolu, soit de 1013 mbar à 0 mbar.
Ces vacuomètres ne supportent pas de surpressions, aussi sont-ils équipés de soupape de sécurité.
Lorsque les conditions matérielles sont réunies, il reste un point important à régler : c'est la température de l'installation.
La déshydratation d'un réseau "chaud" est plus aisée, mais une installation de grande dimension ne peut pas être étuvée, aussi tous les artifices doivent être utilisés pour la réchauffer :

⇒ favoriser le tirage au vide dans la journée (température ambiante),

⇒ réchauffer avec des radians, couvrir de bâches pour contenir la chaleur,

⇒ mettre en service les résistances dans les séparateurs et carters quand ceux-ci sont remplis,

⇒ utiliser la chaleur créée par la circulation des fluides air ou eau au moyen des pompes et ventilateurs, etc.

Nota . La vapeur d'eau formée dans un endroit "chaud" se recondense en traversant une zone "froide".
Le tirage au vide par étape et par zone élimine cet aléa.

Déshydratation des circuits par tirage au vide et injection d'azote.

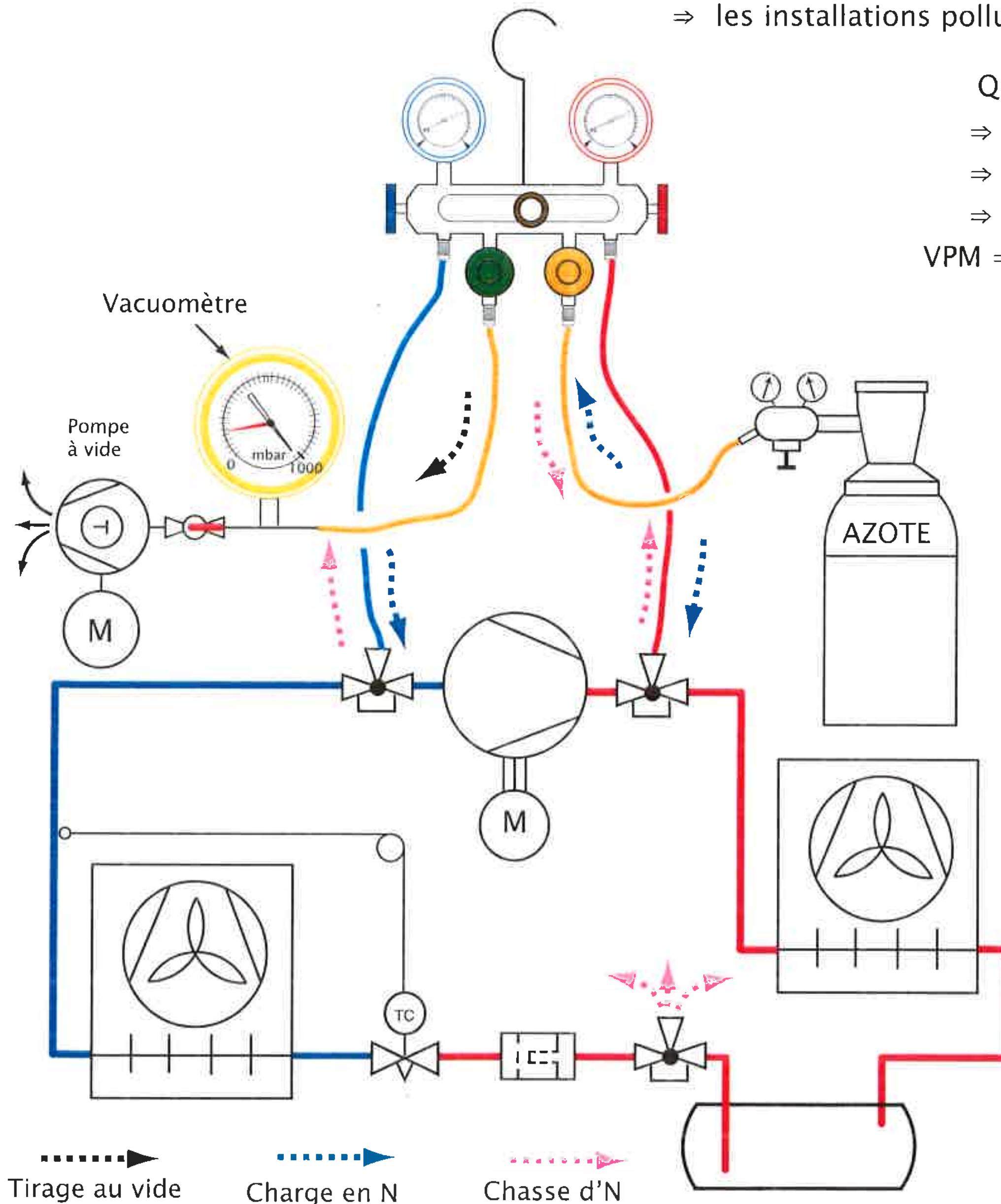
Cette méthode de déshydratation se pratique pour :

⇒ les petites installations,
⇒ les installations polluées par de l'eau (rupture de tubes d'échangeur).

Qualités d'azote utilisé par les frigoristes :

⇒ azote (I) : teneur en eau < 40 vpm,
⇒ azote (U) : teneur en eau < 5 vpm.
⇒ azote 4,5 : teneur en eau < 5 vpm.

VPM = volume par million soit 1 cm^3 pour 1 m^3



L'azote sec, injecté dans le circuit, absorbe une partie de l'humidité. Lors de la purge, de la "chasse" dans l'atmosphère, on élimine une partie de l'humidité.

Cette pratique est appelée dans la profession : chasse à l'azote, cassage du vide ou triple évacuation.

Procédure

⇒ arrêter la pompe à vide,
⇒ isoler la pompe du circuit,
⇒ injecter de l'azote jusqu'à 1 bar maximum,
⇒ attendre de 15 à 30 min,
⇒ chasser l'azote humide par le flexible de la bouteille d'azote et par la vanne de service du réservoir,
⇒ remettre la pompe à vide en service,
⇒ observer la descente en pression et en particulier le palier représentant l'évaporation de l'eau.

Dans la profession, l'usage est de recommencer 3 fois l'opération, cela peut s'avérer insuffisant, aussi faudra t-il renouveler les "cassages de vide" pour obtenir une bonne déshydratation.

L'objectif est atteint si l'évolution est conforme à la courbe -2- (rouge) de la page 228.

Déshydratation et purges des circuits à l'ammoniac.

Déshydratation :

Selon une idée reçue, le tirage au vide ne revêt pas une grande importance pour les installations à l'ammoniac.
La particularité de l'association de l'eau et de l'ammoniac concourt sans doute à répandre cette erreur.
En effet, l'ammoniac est très soluble dans l'eau et nous utilisons cette affinité à diverses occasions :

- ⇒ comme frigoporteur (alcali ou ammoniaque ou NH_4 OH),
- ⇒ dans les machines à absorption,
- ⇒ dans les purges de circuits,
- ⇒ lors d'interventions de sécurité,
- ⇒ pour purifier l'air rejeté par les extracteurs d'air,
- ⇒ pour décontaminer une personne.

Dans le circuit, il n'y a pas séparation de l'eau et de l'ammoniac, on ne craint donc pas la formation de glace dans les organes de détente, c'est un point positif.
Une trop grande quantité d'eau modifie les caractéristiques de l'ammoniac. Pour une même pression, la température d'évaporation remonte. Ceci se traduit par une perte de puissance de l'installation qu'il faudra compenser par un temps de fonctionnement plus long. L'ammoniac anhydre est sans effet sur les matériaux (excepté le cuivre et ses alliages), mais le mélange ammoniac et eau est corrosif.
Les installations dont la pression est inférieure à la pression atmosphérique sont équipées de purgeurs automatiques, les incondensables sont éliminés, tandis que l'humidité de l'air est piégée.
Une simple analyse de l'ammoniac d'une installation permet de vérifier la teneur en eau, au-delà de 0,8 à 1 % ,il convient de décontaminer la charge. La mise en place provisoire d'un rectificateur permet de retrouver progressivement une teneur en eau inférieure à 0,5 %.

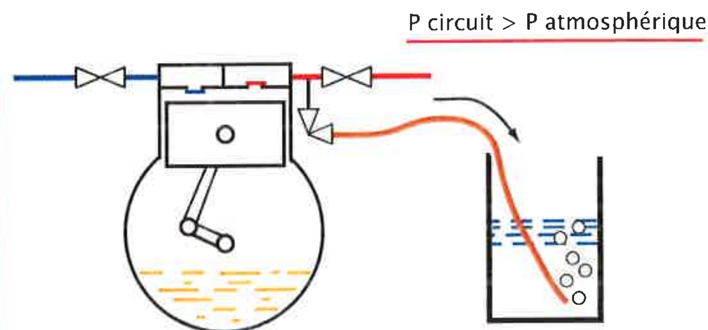
Purges des circuits :

La solubilité de l'ammoniac dans l'eau est très grande. A 20°C, un litre d'eau absorbe 331 grammes d'NH_3, soit 460 litres de vapeur. Cette méthode est largement utilisée car elle limite les effluves.

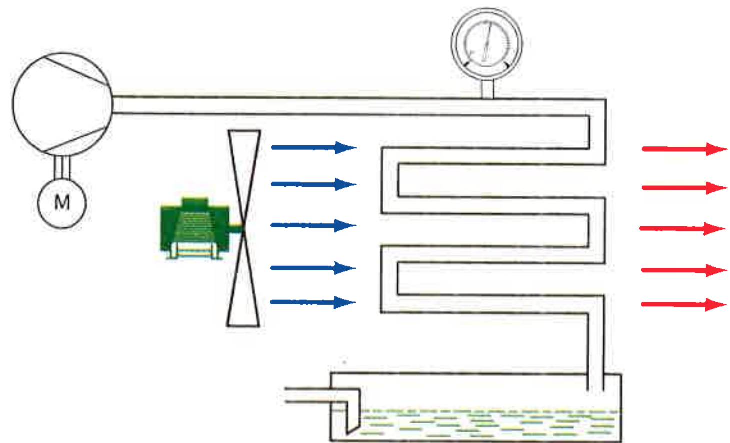




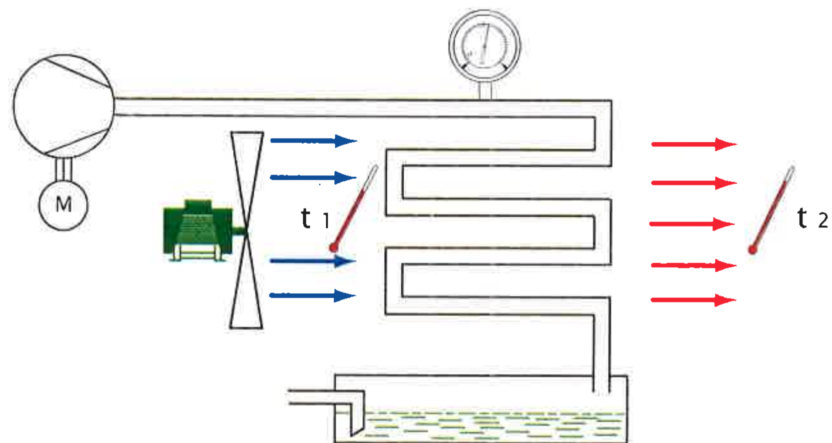
Lors d'une purge dans de l'eau, veillez à ce que la pression du circuit soit toujours supérieure à la pression atmosphérique.
Le risque en fin de purge est de constater une "aspiration" de l'eau par le circuit.
Cette absorption est due à la dissolution de l'ammoniac dans l'eau.



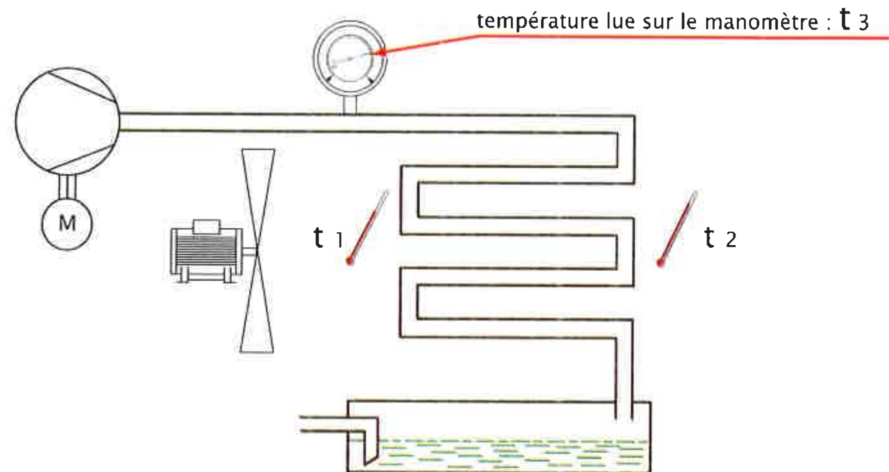
Test des incondensables



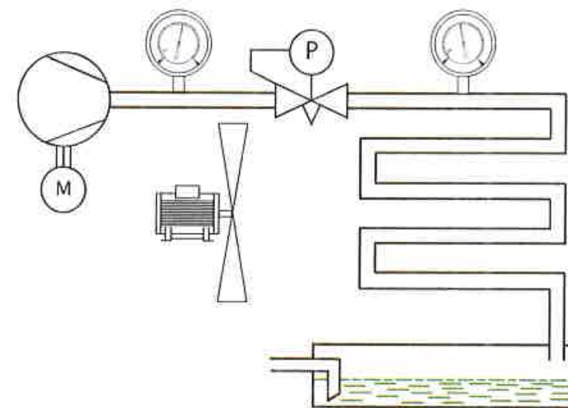
Phase 1



Phase 2



Phase 3



★ Installation équipée d'un régulateur amont.

Pour relever avec certitude la pression du condenseur, positionner le régulateur en ouverture manuelle.

Les
Ils or
la ter
les dé
D'où
Dans
d'ass
Mét
Le te
tatio



t 2

Les incondensables.

Ils ont pour effet d'augmenter la pression de condensation avec des conséquences sur la puissance absorbée et la température de refoulement. Pour compenser cette augmentation de la HP, les dispositifs de régulation augmentent les débits d'eau ou d'air, pénalisant ainsi le rendement énergétique de l'installation.

D'où viennent ces incondensables ?

- ⇨ du fluide frigorigène,
- ⇨ de la décomposition des fluides lorsque les températures sont anormalement hautes,
- ⇨ de mauvais tirages au vide ou d'erreur de manipulation lors de la mise en service,
- ⇨ d'opérations de maintenance effectuées sans soin,
- ⇨ d'entrée d'air lorsque le circuit fonctionne à des pressions inférieures à la pression atmosphérique.

Dans cette situation, les entrées d'air sont inévitables. Les emplacements les plus exposés à l'entrée d'air sont les brides d'assemblage, les presse-étoupes, les garnitures d'étanchéité à l'arrêt des compresseurs.

L'air qui pénètre dans les circuits est humide, à terme cette humidité devra aussi être éliminée.

Méthode pour mettre en évidence la présence des incondensables.

Le test des incondensables, présenté sur la page de gauche, doit intervenir lorsque toutes les causes possibles d'augmentation de la HP ont été explorées. En effet pour être fiable, ce test nécessite l'arrêt de l'installation.

Phase 1

- ★ Mettre l'installation à l'arrêt.
- ★ Forcer le passage du fluide de refroidissement : air ou eau.
- ★ Dans le cas d'un condenseur évaporatif, utiliser la ventilation.

Phase 2

- ★ Vérifier que la phase de condensation est terminée :

$$t_1 = t_2$$

- ★ Lorsque t1 = t2, interrompre le passage du fluide de refroidissement.

Phase 3

- ★ Comparer la température lue sur le manomètre t3 avec la température t1 ou t2.
- ★ Si t3 = t1 ou t2 : il n'y a pas d'incondensables.
- ★ Si t3 >t1 ou t2 : il y a présence d'incondensables.

Une valeur de 5 à 7K au-dessus de t1 /t2 est nécessaire pour mettre en cause les incondensables.

nt.

Purges des incondensables.

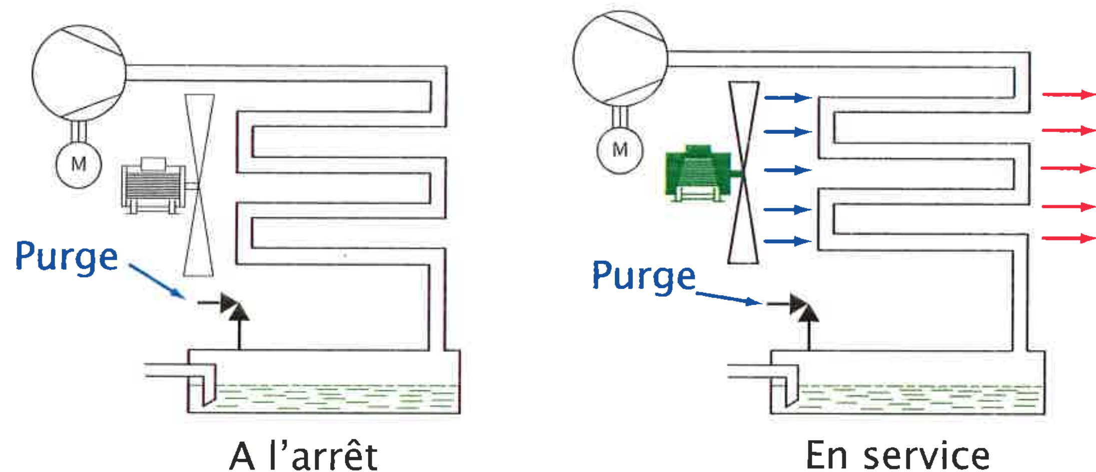




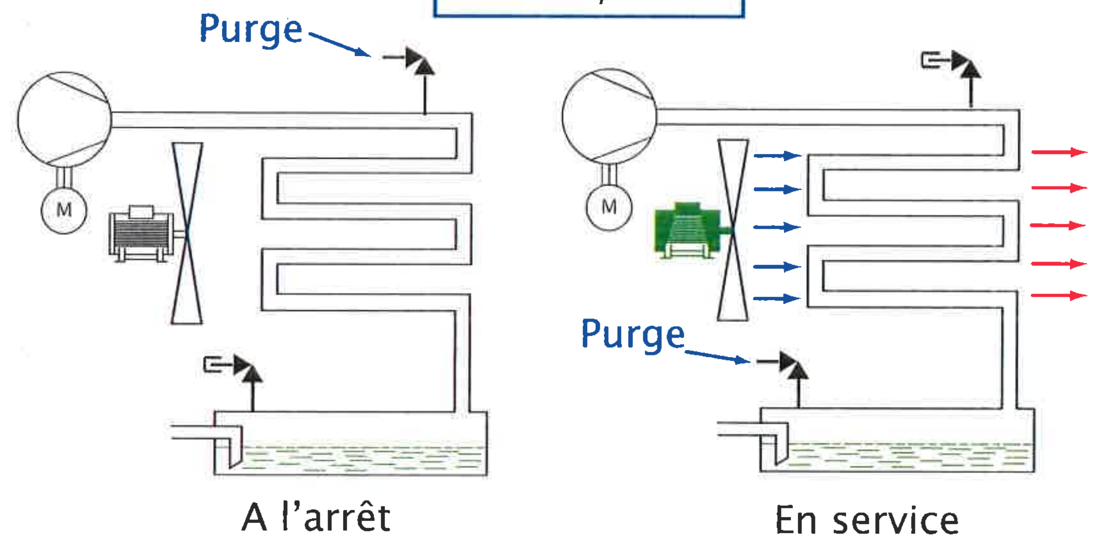


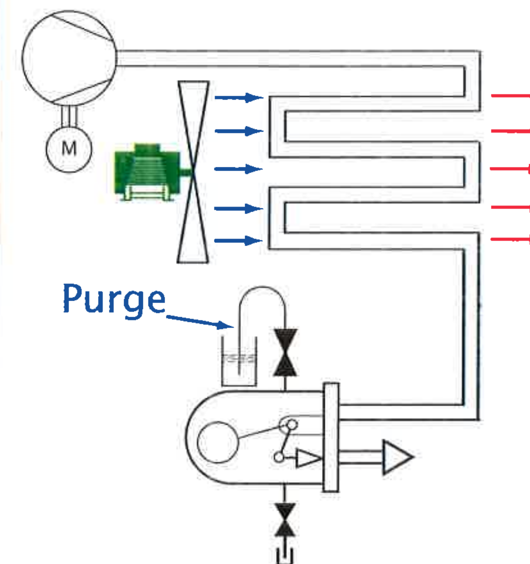


NH_3



HCFC/HFC





Installation munie d'un flotteur HP.
NH_3 / HCFC ou HFC
En service

Les p
L'opéra
sans er
La dens
Deux e

Purge c
L'air es
turbule
Purges
Les HC
conder
En serv

Les ins
d'incor

Le fluic
d'aspir
Un app

Les purges d'incondensables.

L'opération de purge d'incondensables est une opération délicate car l'objectif est d'éliminer un gaz perturbateur sans enlever le fluide frigorigène !

La densité des fluides en mélange positionne l'emplacement des purges.

Deux erreurs à éviter :

⇨ la purge des installations à l'ammoniac au point haut des circuits,

⇨ la purge sur le collecteur de refoulement, dans cette zone, les vitesses oscillent de 15 à 30 m/s.

Purge des installations utilisant de l'ammoniac.

L'air est plus lourd que l'ammoniac, la purge se fait donc au point bas du circuit HP. Choisir de préférence une zone sans turbulences et plutôt froide.

Purges des installation utilisant des fluides halogénés.

Les HCFC et les HFC sont plus denses que l'air. A l'arrêt de l'installation, la purge est efficace au point haut du circuit de condensation. Cette opération peut intervenir après le test des incondensables.

En service, la vitesse est telle que les incondensables sont repoussés dans une zone calme et froide.

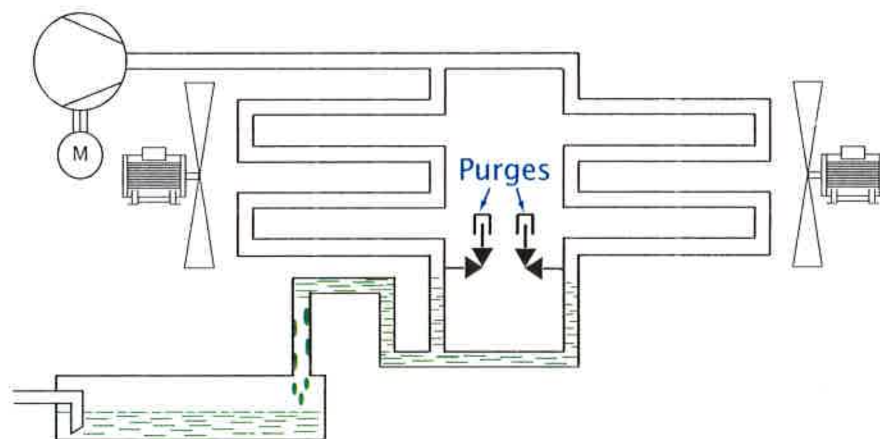
Les installations de petites dimensions ne sont pas toujours pourvues de point de purge. Lorsque la présence d'incondensable est avérée, il ne faut pas hésiter à récupérer :

⇨ le fluide frigorigène du circuit HP,

⇨ ou la totalité du fluide de l'installation si aucune vanne n'est disponible.

Le fluide est stocké dans une bouteille de transfert. Après un tirage au vide, la charge se fait en phase liquide pour éviter d'aspirer de nouveau les incondensables.

Un appoint de fluide vierge complète la charge de l'installation.



La mise en parallèle de plusieurs condenseurs, dont la régulation HP se fait avec la rotation des ventilateurs, implique l'utilisation de pièges à liquide ou siphons.

Dans ce cas, les purges se trouvent en amont du liquide. En effet, les incondensables ne peuvent pas franchir le liquide des siphons.

Nota : les purges doivent se faire lorsque les 2 ventilateurs sont dans le même état, en service ou à l'arrêt.

Cette précaution évite la purge de liquide.

HP.

Pressions exercées par les F.F. en phase liquide.

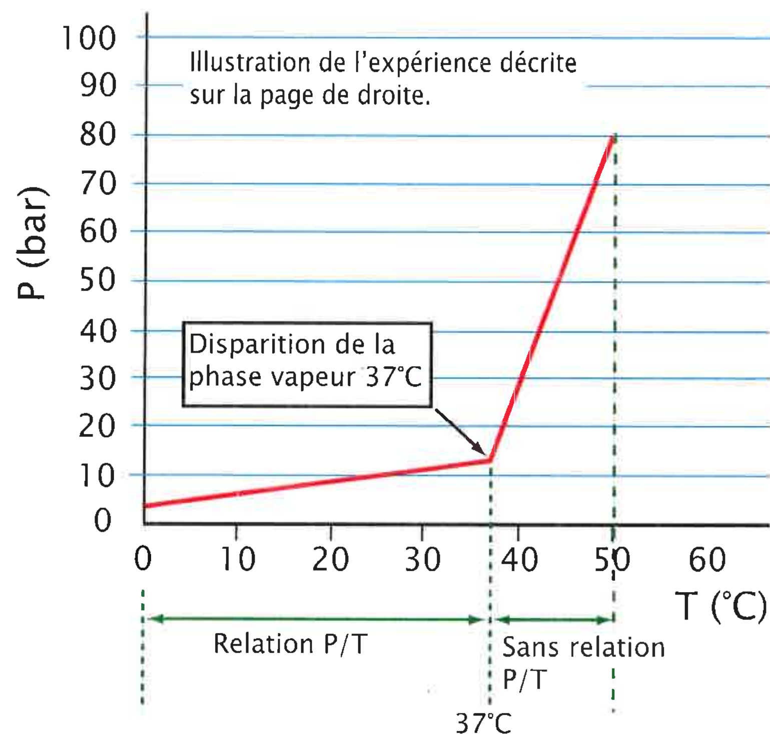
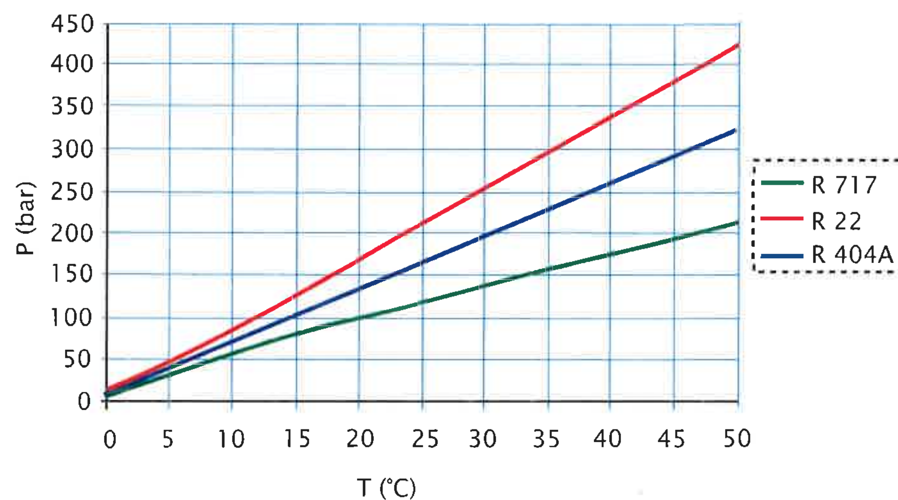


Figure 1



Exemple de fluides frigorigènes liquides à 0°C.
Ils occupent la totalité d'une capacité.
Ils sont soumis à des augmentations de température.

Figure 2

Les 2 graphiques mettent en évidence les risques encourus si :

- ⇒ les bouteilles de fluides frigorigènes sont trop chargées lors de transferts,
- ⇒ 2 robinets sur une tuyauterie enferment 100 % de liquide.

Pour éviter une destruction des contenants, il faut :

- ⇒ respecter les masses de fluides frigorigènes préconisées par les fabricants de bouteilles,
- ⇒ éliminer par un "pump down" une partie du liquide et créer ainsi une phase gazeuse.

Nota : une bouteille de fluide frigorigène correctement chargée peut être exposée à des températures de 60/65 °C et conserver une phase gazeuse.

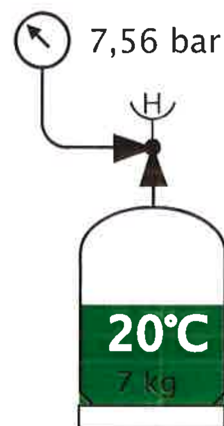
Les bouteilles de fluide ne doivent, en aucun cas, être stockées dans une salle des machines. Elles ne sont pas équipées de soupape de sécurité, ce sont de véritables bombes pour les secours en cas d'incendie.

Pressions exercées par les F.F. en phase liquide.

La bouteille de 12 dm^3 est chargée avec 7 kg d'ammoniac.
Elle est soumise à différentes températures.
Le volume occupé par le liquide fluctue en fonction de son volume massique qui dépend de la température.

-R717- Etat saturé-

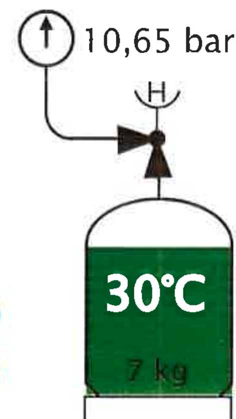
Températures	Pressions	Masse volumique	Volume massique
°C	effective pe bar	liquide ρ' kg/m³	liquide V' dm³/kg
0	3,281	638,6	1,57
5	4,144	631,7	1,58
10	5,137	624,6	1,60
15	6,272	617,5	1,62
20	7,562	610,2	1,64
25	9,017	602,8	1,66
30	10,657	595,2	1,68
35	12,497	587,4	1,70
36	12,889	585,85	1,7069
37	13,289	584,28	1,7115
38	13,698	582,68	1,7162
39	14,115	581,05	1,721
40	14,542	579,71	1,725
45	16,817	571,3	1,75
50	19,327	562,9	1,78
55	22,097	554,2	1,80
60	25,147	545,2	1,83
65	28,477	536	1,87
70	32,117	526,3	1,90
75	36,087	516,2	1,94
80	40,407	505,7	1,98
85	45,087	494,5	2,02
90	50,157	482,8	2,07



Situation 1

A 20°C le volume massique est de 1,64 dm³/kg.
Les 7 kg de liquide occupent donc un volume de
⇨ 7 x 1,64 = 11,48 dm³.
La phase vapeur est de :
⇨ 12 - 11,48 = 0,52 dm³.

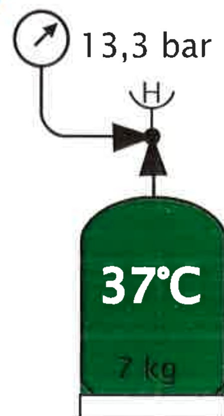
La présence de vapeur au-dessus du liquide implique une relation entre la pression et la température (état saturé).



Situation 2

A 30°C le volume massique est de 1,68 dm³/kg.
Les 7 kg de liquide occupent donc un volume de
⇨ 7 x 1,68 = 11,76 dm³.
La phase vapeur est de :
⇨ 12 - 11,76 = 0,24 dm³.

La présence de vapeur au-dessus du liquide implique une relation entre la pression et la température (état saturé).



Situation 3

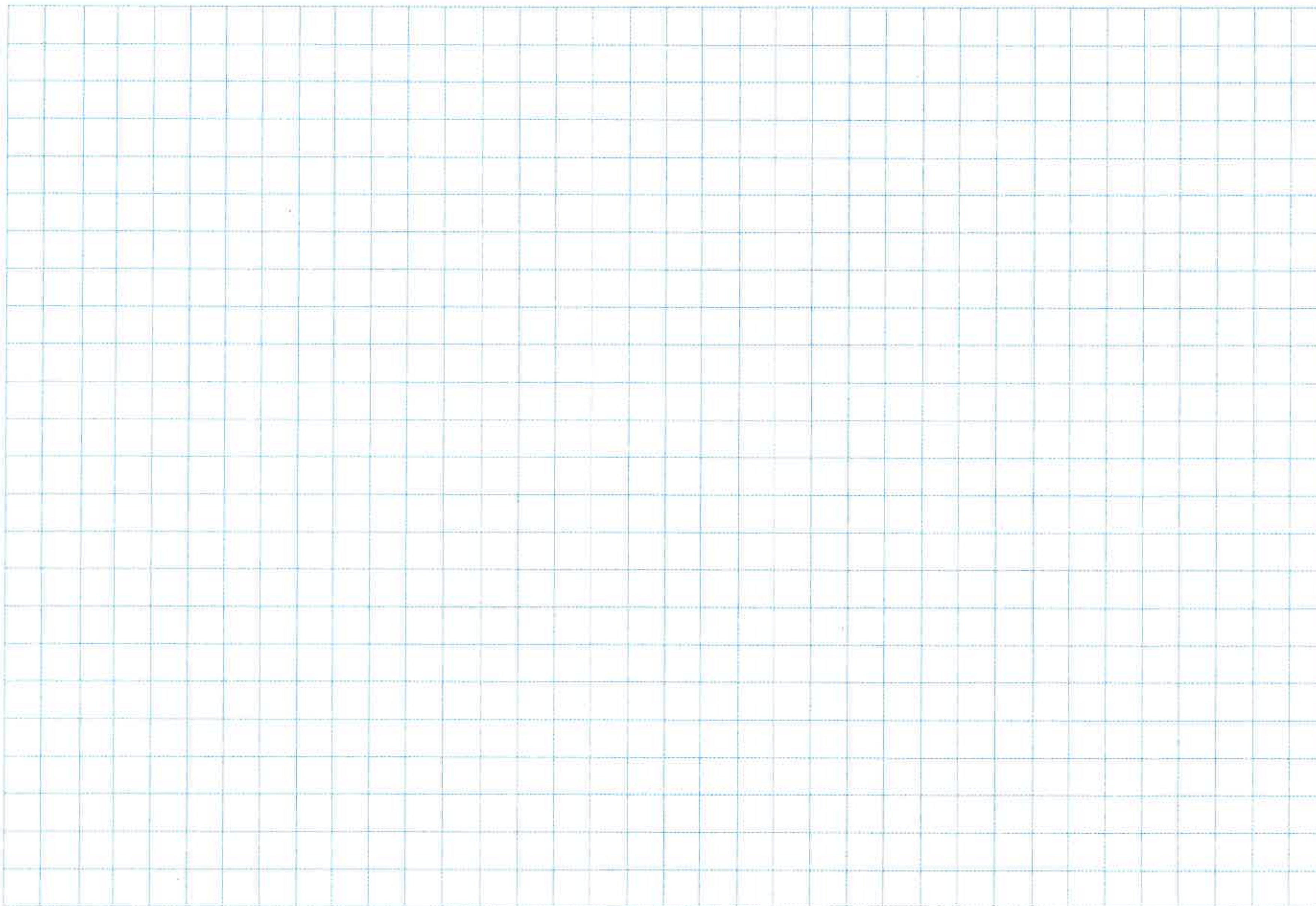
Les 7 kg de fluide occupent la totalité du volume de la bouteille.
Le volume massique du fluide est de :

$$\frac{12}{7} = 1{,}71 \text{ dm}^3/\text{kg correspondant à } 37°\text{C}$$

<u>La phase gazeuse a disparu</u>.

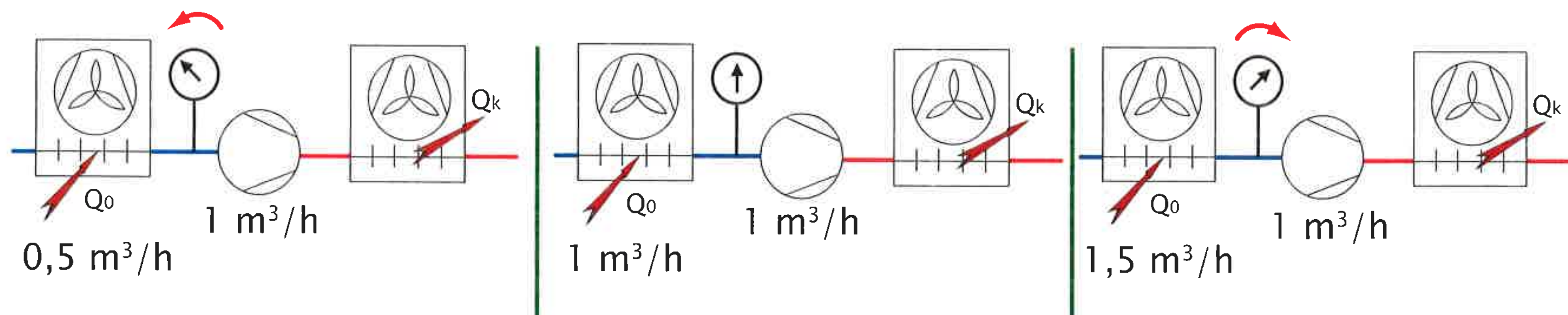
Au-delà de cette température, il n'y a plus de relation entre la pression et la température.
Les conséquences sont décrites sur les graphiques de la page de gauche.

Notes personnelles.



Evolutions des pressions et des températures.

Evolutions de la basse pression.



Phase initiale.

Le débit volume aspiré par le compresseur est déterminé lors du calcul de l'installation.

L'équilibre de pression s'établit lorsque le débit volume aspiré par le compresseur correspond au débit de gaz produit par l'évaporateur.

L'équilibre est rompu si la production de gaz évolue dans l'évaporateur.

Les débits volumes sont donnés à titre indicatif.

Nota : la variation du volume aspiré par le compresseur produirait les mêmes effets.

La BP baisse lorsque :

⇨ la charge de FF est insuffisante,

⇨ le FF parvient difficilement au détendeur,

⇨ les débits de fluides à refroidir sont faibles (air, eau ou saumure),

⇨ l'évaporateur est givré,

⇨ la concentration en glycol ou en saumure est faible (prise en glace),

⇨ l'évaporateur contient de l'huile, en particulier avec de l'ammoniac,

⇨ la charge thermique dans la CF est faible,

⇨ le mauvais chargement des produits dans la CF engendre un recyclage de l'air (by-pass),

⇨ La régulation de puissance n'a pas réduit la capacité du compresseur.

La BP augmente lorsque :

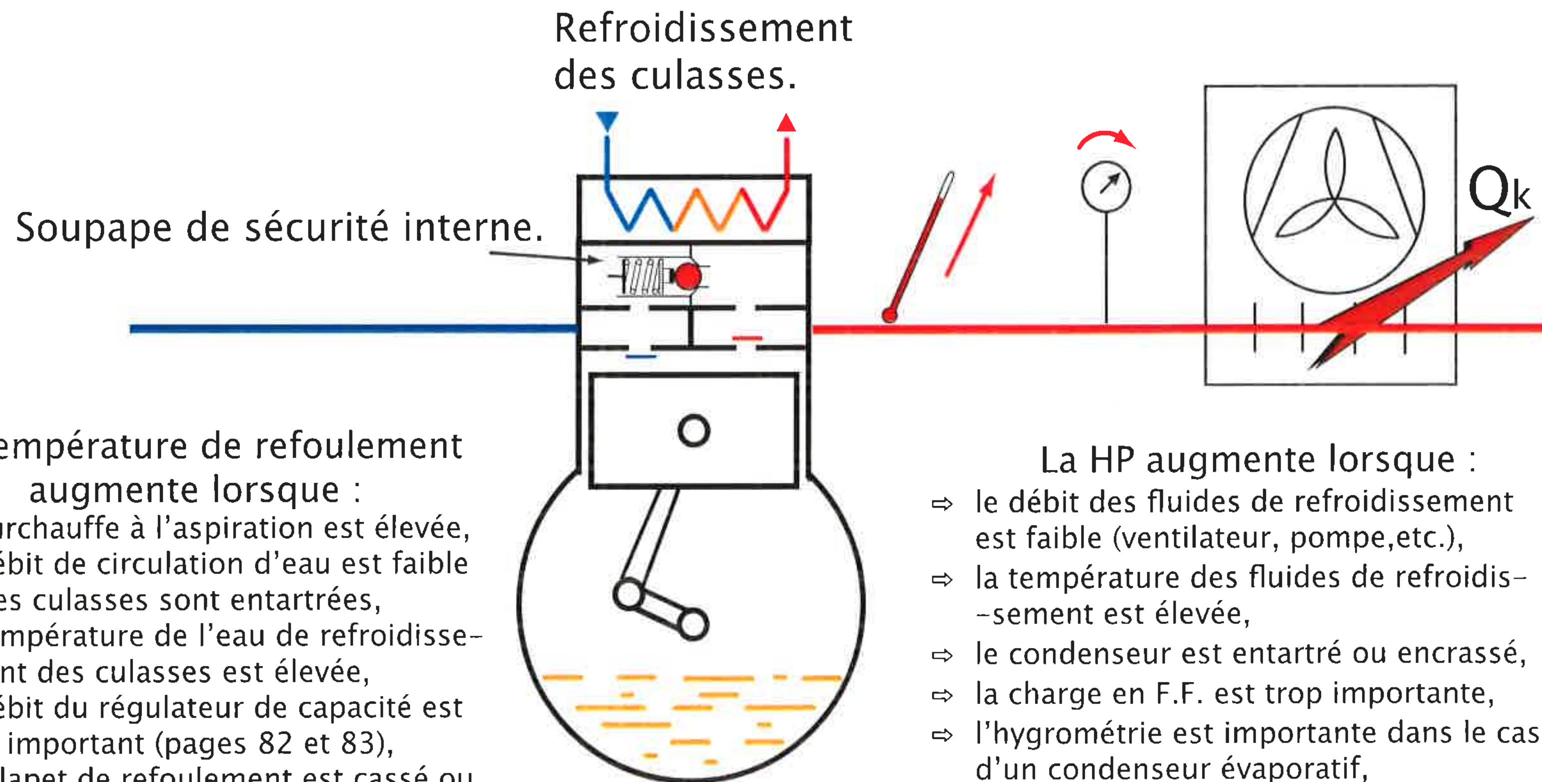
⇨ la charge thermique est élevée et ne correspond pas au bilan (masse et température des produits, portes ouvertes, etc.)

⇨ les clapets BP ne sont pas étanches, le débit volume aspiré diminue,

⇨ la soupape de sécurité interne est ouverte (voir page suivante),

⇨ la régulation de puissance n'a pas augmenté la capacité du compresseur.

Evolutions de la température de refoulement et de la HP.



La température de refoulement augmente lorsque :

- ⇨ la surchauffe à l'aspiration est élevée,
- ⇨ le débit de circulation d'eau est faible ou les culasses sont entartrées,
- ⇨ la température de l'eau de refroidisse--ment des culasses est élevée,
- ⇨ le débit du régulateur de capacité est trop important (pages 82 et 83),
- ⇨ un clapet de refoulement est cassé ou n'est plus étanche,
- ⇨ la soupape de sécurité interne entre la HP et la BP est ouverte, (soupapes de sécurité ou disques de rupture), L'ouverture de ces soupapes est consé cutive à une pression HP excessive.

La température de refoulement baisse lorsque :

- ⇨ le débit du détendeur de l'évaporateur ou celui d'injection de désurchauffe est trop important (page 93).

La HP augmente lorsque :

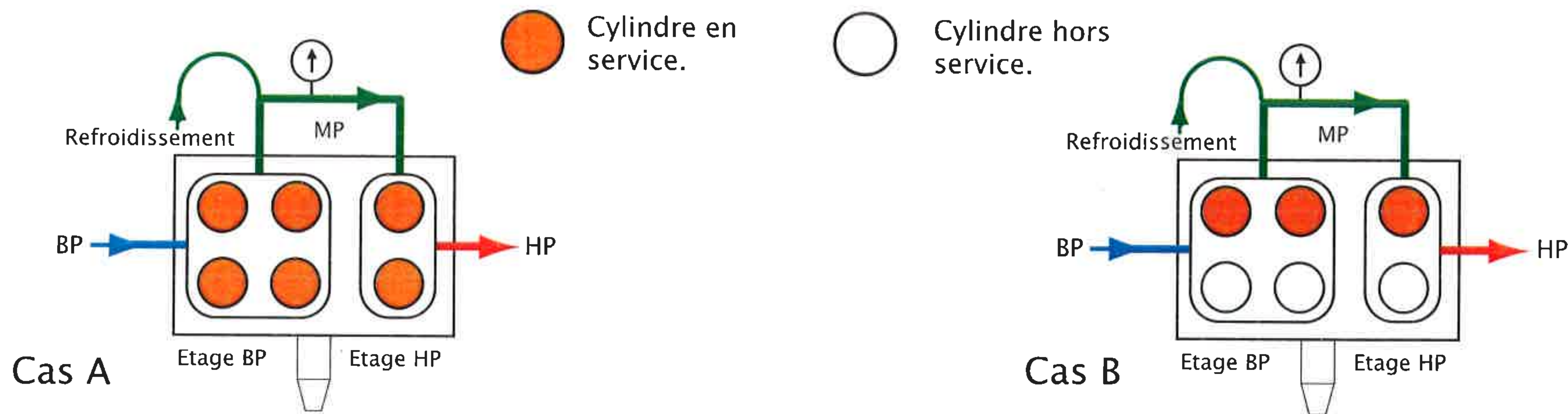
- ⇨ le débit des fluides de refroidissement est faible (ventilateur, pompe,etc.),
- ⇨ la température des fluides de refroidis--sement est élevée,
- ⇨ le condenseur est entartré ou encrassé,
- ⇨ la charge en F.F. est trop importante,
- ⇨ l'hygrométrie est importante dans le cas d'un condenseur évaporatif,
- ⇨ la charge thermique à l'aspiration est élevée,
- ⇨ le condenseur contient des incondensables.

La HP baisse lorsque :

- ⇨ la BP baisse (F.F, charge thermique, etc.)
- ⇨ le dispositif de contrôle de la HP fonctionne mal car le débit du fluide refroidissement est important ou sa température est basse.

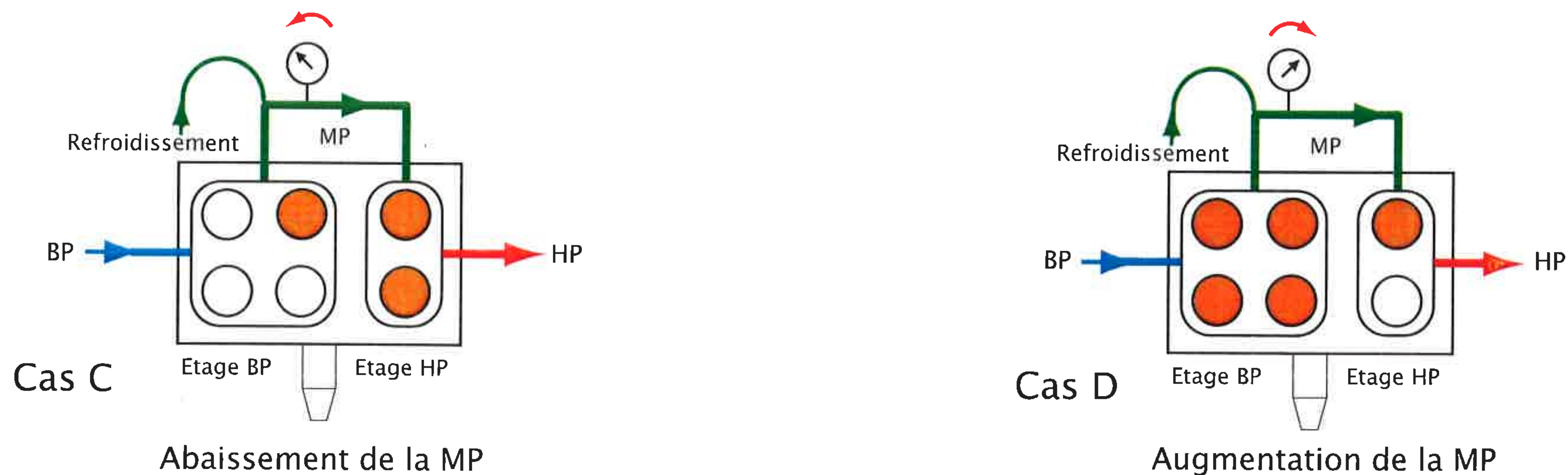
Cette baisse de la HP réduit la consommation d'énergie, mais crée des désordres dans l'alimentation des détendeurs.

Evolutions des pressions sur un système bi-étagé de type compound.



Les cylindres sont asservis à des E.V. pour adapter les volumes aspirés.

Conséquences de la variation du rapport de compression.



Abaissement de la MP

Augmentation de la MP

Les effets sont identiques si le cycle bi-étagé utilise des compresseurs indépendants (booster).

Evolutions des pressions et des températures sur un système bi-étagé de type compound.

Les évolutions des pressions décrites pages 240 et 241 conduisent aux mêmes conséquences sur un système bi-étagé.

Cependant, la moyenne pression MP est tributaire des débits volumes refoulés par l'étage BP et aspirés par l'étage HP. Une fois les pressions BP et HP déterminées, la pression intermédiaire est fonction du rapport de compression.

$$N = \frac{\text{Nombre de cylindre BP}}{\text{Nombre de cylindre HP}} = \frac{4}{2} \text{ soit } \frac{\text{volume balayé par l'étage BP}}{\text{volume balayé par l'étage HP}} = \frac{Qv_{bal.}BP}{Qv_{bal.}HP} = 2$$

Cas – A – Tous les cylindres sont en service. La MP s'équilibre suivant le rapport des cylindres.

Cas – B – Lorsque la charge thermique diminue, il faut adapter le compresseur au débit de gaz produit par l'évaporateur.

Seuls 2 cylindres BP et 1 cylindre HP sont en service, on constate que la MP n'a pas ou a peu changé (N=2).

Lorsque le rapport de 2 n'est pas respecté, la MP prend d'autres valeurs que celles des exemples A et B.

Cas – C – Le $Qv_{bal.}$ HP est trop important <u>ou</u> le $Qv_{bal.}$ BP est trop faible.
Il en résulte un déséquilibre qui occasionne la baisse de la MP.

L'origine probable de la situation :

- ⇨ la régulation de puissance ne commande pas le cylindre BP,
- ⇨ le cylindre est en service, mais son clapet BP est détérioré.

L'augmentation du taux de compression de l'étage HP entraîne une élévation de la température de refoulement.

Cas – D – Le $Qv_{bal.}$ HP est trop faible ou le $Qv_{bal.}$ BP est trop important.
Il en résulte un déséquilibre qui occasionne une augmentation de la MP.

L'origine probable de la situation :

- ⇨ la régulation de puissance ne commande pas le cylindre HP,
- ⇨ le cylindre est en service, mais son clapet BP est détérioré.

La pression MP augmente jusqu'à atteindre le point de coupure de la sécurité. (Capteur C2 pages 200 à 203).

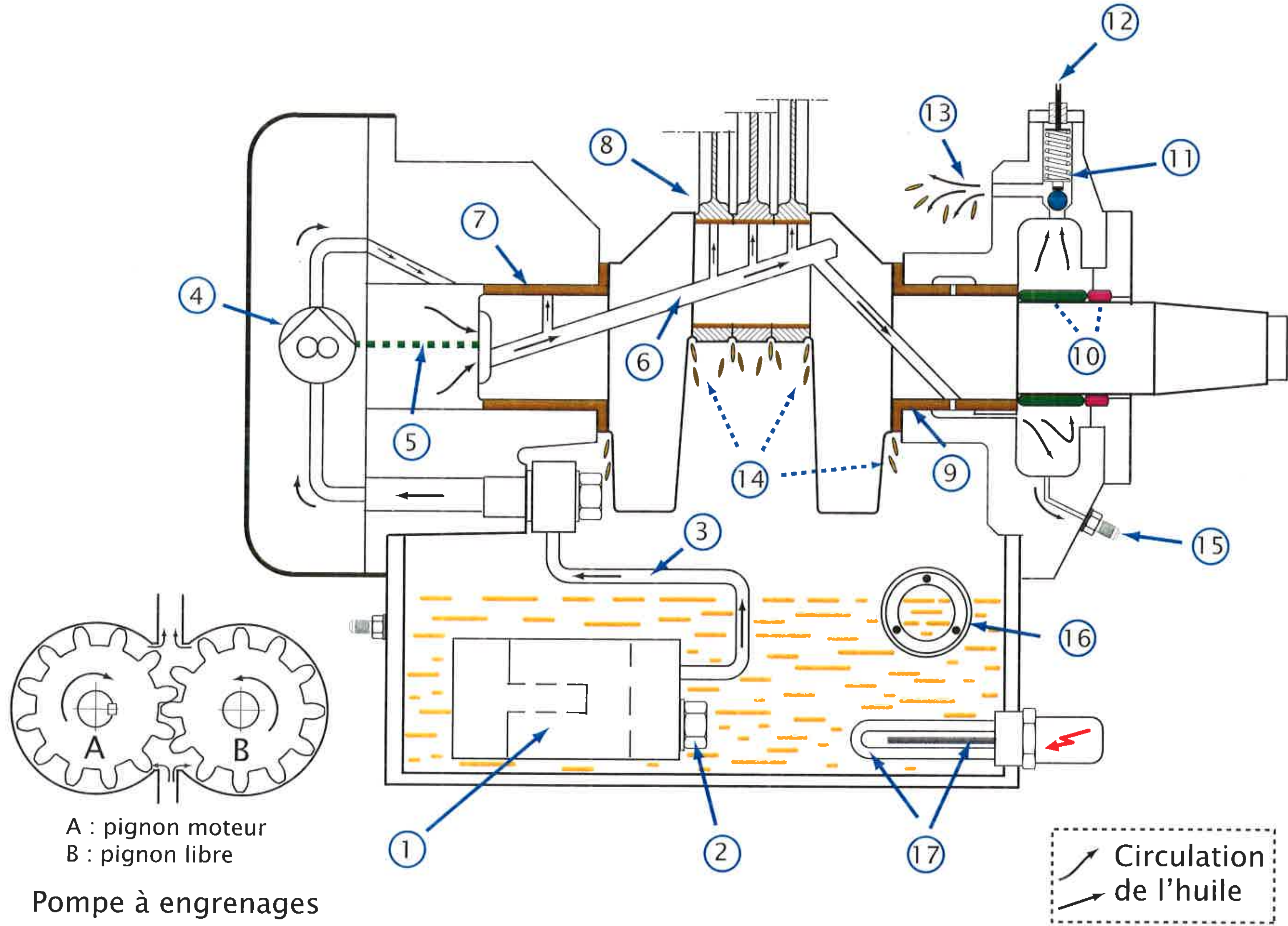
Les évolutions de la température de refoulement.

Elles ont pour origine les événements décrits page 241 auxquels s'ajoutent des dysfonctionnements :

- ⇨ du dispositif de désurchauffe (D2 – Cycle 3 – page 15 ou D2 et D3 -cycle 4- page 17)
- ⇨ du niveau de fluide frigorigène dans la bouteille intermédiaire pages 34 et 35.
- ⇨ de la sonde S2 pages 200 à 203

Nota : les constructeurs de compresseurs proposent des rapports N = 2/1, 3/1, 6/2, 12/4, 6/3, 7/2, 9/3, 10/2, etc.
Ainsi les installateurs ont toute latitude pour choisir la pression intermédiaire.

Circuit de lubrification d'un compresseur à pistons.



Comp

Su

Nota

Il est i

Cette

La pre

Le ma

soustı

Composants d'un système de lubrification sous pression.

- 1- filtre composé d'un tamis métallique et d'une cartouche interchangeable,
- 2 - bouchon aimanté,
- 3 - collecteur d'aspiration,
- 4- pompe à huile, à engrenages, à palettes, certaines sont réversibles et donc indépendantes du sens de rotation
- 5 - entraînement de la pompe par joint tournant, par engrenages ou par chaîne à l'extrémité du vilebrequin,
- 6 - canal de distribution de l'huile,
- 7 - palier avant, construit en matériau anti-friction, il est parfois interchangeable,
- 8 - têtes de bielles, souvent équipées de 1/2 coussinets interchangeables,
- 9 - palier arrière, construit en matériau anti-friction, il est parfois interchangeable,
- 10 - garniture d'étanchéité,
- 11- clapet de réglage de la pression d'huile, elle est ajustée par la tension du ressort.
  Cette tension est obtenue par système vis/écrou ou par l'empilage de rondelles.

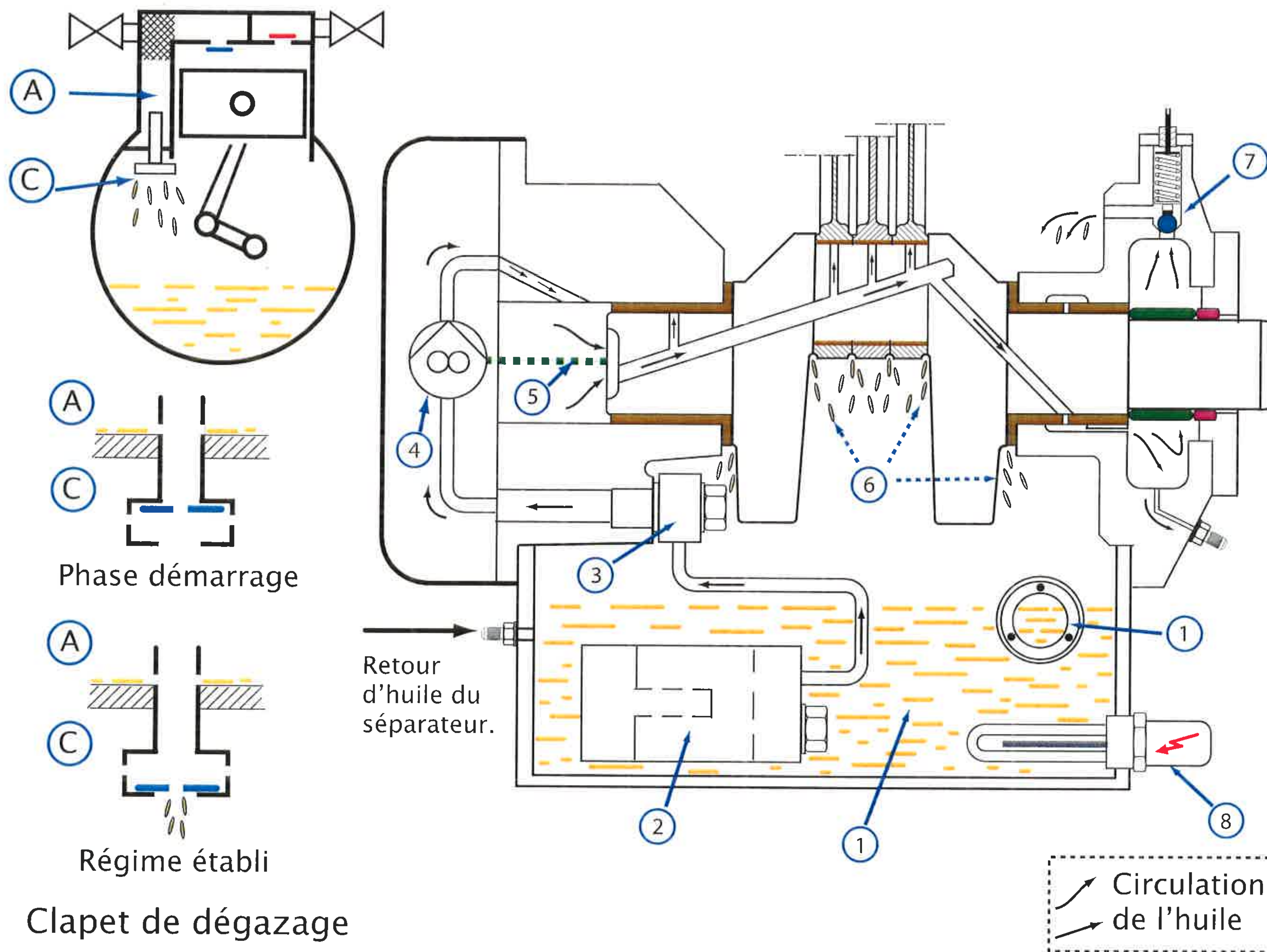
Suivant les constructeurs, ces clapets sont :

⇨ <u>inaccessibles</u> de l'extérieur, le démontage du compresseur est nécessaire pour les atteindre,
⇨ <u>accessibles</u>, mais non réglables pendant le fonctionnement du compresseur, un dégazage s'impose,
⇨ <u>accessibles et réglables</u> pendant le fonctionnement du compresseur,

- 12 - vis de réglage de la pression d'huile,
- 13 - retour d'huile dans le carter,
- 14 - "débit de fuite de l'huile" nécessaire pour une bonne lubrification,
- 15 - prise de pression utilisée pour :
  ⇨ la mesure de pression,
  ⇨ la sécurité,
  ⇨ la régulation de puissance,
- 16 - voyant de contrôle du niveau d'huile,
- 17 - résistance électrique en service pendant l'arrêt du compresseur, parfois elle est thermostatée.

<u>Nota : la pression d'huile, réglée par la vis 12, est imposée par le constructeur.</u>
Il est indispensable de consulter la notice technique du compresseur pour en connaître la valeur.
Cette pression n'est pas identique pour tous les compresseurs, elle peut varier de 0,8 bar à 4,5 bar.
La pression d'huile donnée par le constructeur n'est pas la pression lue au manomètre raccordé en 15.
Le manomètre indique la pression de refoulement de la pompe, pour connaître la pression d'huile, il convient de soustraire la pression d'aspiration de la pompe. Dans notre cas, il s'agit de la pression BP.

Anomalies d'un circuit de lubrification.



Anomalies du circuit de lubrification.

Les dysfonctionnements du circuit de lubrification sont énumérés en tenant compte de la progression de l'huile dans le circuit. Ils se traduisent par une diminution de la pression d'huile entraînant une coupure du pressostat différentiel.

- 1 – Manque d'huile dans le carter :
  - ⇨ l'huile est retenue dans le séparateur (filtre, flotteur, E.V., etc.),
  - ⇨ pas de retour d'huile d'un circuit en détente directe, par manque de fluide frigorigène,
  - ⇨ mauvais fonctionnement du décocteur d'un système noyé,
- 2 – filtre colmaté,
- 3 – circuit d'aspiration de la pompe non-étanche. L'aspiration de gaz provoque la cavitation de la pompe.
- 4 – pompe en mauvais état :
  - ⇨ pignons de la pompe détériorés,
  - ⇨ jeux excessifs des axes de pignons,
- 5 – défaut de l'entraînement de la pompe,
- 6 – usures importantes des paliers ou des têtes de bielles,
  Le "débit de fuite" devient trop important. Le clapet de réglage se referme, mais la pression dans le réseau reste insuffisante.
- 7 – défaut d'étanchéité du clapet de réglage :
  - ⇨ une impureté le maintient ouvert, l'huile passe en permanence,
  - ⇨ son usure est trop importante.

Défauts perceptibles au démarrage du compresseur :

- ⇨ La résistance de carter ne fonctionne plus, une grande quantité de fluide frigorigène est solubilisée dans l'huile, ce qui se traduit par une émulsion et un désamorçage de la pompe,
- ⇨ dysfonctionnement du clapet de dépressurisation, appelé aussi clapet de dégazage (voir nota).

Présence de fluide frigorigène en phase liquide dans le carter :

- ⇨ La surchauffe du détendeur est insuffisante,
- ⇨ le décocteur est mal réglé et entraîne du liquide à l'aspiration du compresseur,
- ⇨ le dispositif de désurchauffe des vapeurs à l'aspiration est défectueux.

Injection de gaz chauds dans le carter.

Le système de contrôle du retour d'huile du séparateur est défaillant, le gaz HP réchauffe l'huile, ce qui a pour effet de diminuer sa viscosité. L'augmentation de la fluidité de l'huile favorise le "débit de fuite".

Nota : à la mise en route du compresseur, la pression d'aspiration baisse instantanément dans le collecteur d'aspiration. Cette chute de pression se traduit par une émulsion du fluide frigorigène solubilisé dans l'huile pendant l'arrêt.
Pour éliminer ce phénomène, on intercale un clapet qui détermine 2 zones : A et B. Lors de la phase de démarrage, le clapet est soulevé par la dépression, mais l'orifice central va progressivement équilibrer les pressions. Quand le régime est établi, le clapet retrouve sa position et permet le retour d'huile dans le carter.

Notes personnelles

La psychrométrie. Le traitement d'air.

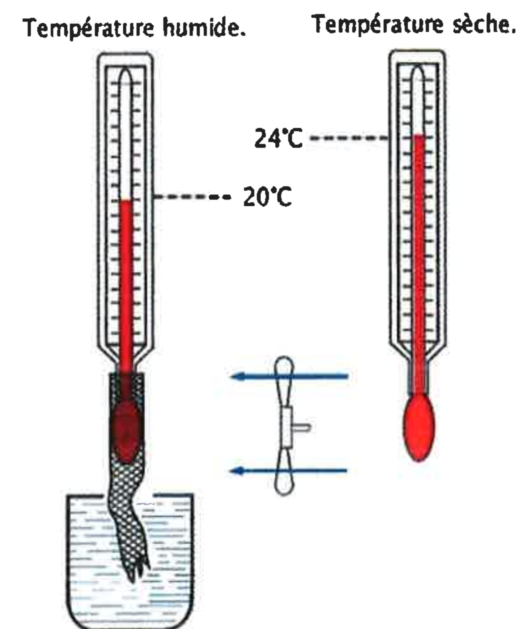
Le traitement d'air comprend le refroidissement, le réchauffage, la filtration, l'humidification et la déshumidification de l'air. Toutes ces activités contribuent à améliorer le confort, l'hygiène et la sécurité alimentaire (climatisation, salles blanches ou de travail). Elles sont également intégrées dans les procédés de fabrication (agroalimentaire, industrie). Le domaine qui est décrit dans ces pages est une partie du traitement d'air, l'hygrométrie, c'est-à-dire la mesure de l'humidité.

Humidités relatives (%) en fonction des températures sèches et des Δθ entre le bulbe sec et le bulbe humide.

Ecart de température entre le bulbe sec et le bulbe humide	Température sèche °C -9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,5	85	87	87	88	88	89	89	90	91	91	91	92	92	92	93	93	93	94	94	94	94	94	95	95	95
1	71	73	74	75	77	78	79	80	81	82	83	84	84	85	86	86	87	87	88	88	88	89	89	90	90
1,5		59	62	64	66	67	69	70	72	73	75	76	77	78	79	79	80	81	82	82	83	83	84	84	85
2		45	49	52	54	57	59	61	63	64	66	68	69	70	72	73	75	75	76	77	77	78	79	79	80
2,5			36	40	43	46	49	52	54	56	58	60	62	63	65	66	67	69	70	71	72	73	74	74	75
3			24	28	32	36	39	42	45	47	50	52	54	56	58	60	61	62	64	65	66	68	69	70	71
3,5							29	33	36	39	42	45	47	49	51	53	55	57	58	60	61	62	64	65	66
4							19	23	27	31	34	37	40	42	45	47	49	51	53	55	56	57	59	60	61
4,5											26	30	33	36	38	41	43	45	47	49	51	53	54	56	57
5											18	22	25	29	32	35	37	40	42	44	46	48	49	51	53
5,5															26	29	31	34	36	39	41	43	45	46	48
6															19	23	26	29	31	34	36	38	40	42	44
6,5																	20	23	26	29	31	33	36	38	40
7																	14	18	21	24	26	29	31	33	35

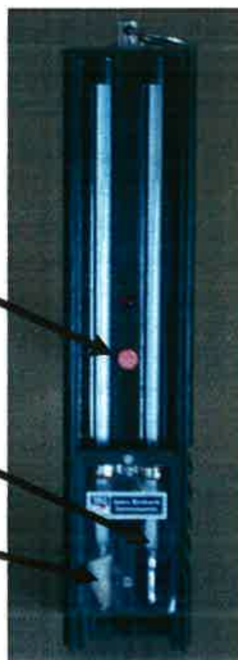
Ecart de température entre le bulbe sec et le bulbe humide	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
0,5	95	95	95	95	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	97	97	97	97	97
1	90	90	91	91	91	91	92	92	92	92	92	93	93	93	93	3	93	94	94	94	94	94	94	94	94
1,5	85	86	86	86	87	87	88	88	88	88	88	89	89	89	89	89	89	90	90	90	90	90	91	91	91
2	81	81	82	82	83	83	83	84	84	85	85	85	86	86	86	86	86	87	87	87	87	88	88	88	88
2,5	76	77	77	78	78	79	80	80	80	81	81	81	82	82	83	83	83	84	84	84	84	85	85	85	85
3	71	72	73	74	74	75	75	76	77	77	78	78	79	79	79	80	80	81	81	81	82	82	82	82	82
3,5	67	68	69	70	70	71	72	72	73	74	74	75	75	76	76	76	77	77	78	78	78	79	79	80	80
4	62	63	65	65	66	67	68	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	76	77	77
4,5	58	59	61	62	63	64	64	65	66	67	67	68	68	69	70	70	71	71	72	72	73	74	74	74	74
5	54	55	56	58	59	60	61	62	62	63	64	65	65	66	67	67	68	68	69	69	70	71	71	72	72
5,5	50	51	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	62	63	64	64	65	65	66	66	68	68	68	69	69
6	46	47	49	50	51	52	54	55	56	57	58	59	59	60	61	61	62	63	63	64	65	65	66	67	67
6,5	42	43	45	46	48	49	50	51	53	54	55	55	56	57	58	58	59	60	60	61	63	63	64	64	64
7	37	39	41	43	44	45	47	48	49	51	51	53	53	54	55	56	57	57	58	59	60	60	61	62	62

Le psychromètre.



La mesure de 2 températures détermine les caractéristiques de l'air humide qui sont obtenues soit par calcul, soit par le tracé sur un diagramme psychrométrique.

L'appareil qui permet de mesurer ces 2 valeurs se nomme psychromètre.
Il est composé de 2 thermomètres, l'un mesure la température sèche, l'autre la température humide. Le bulbe de ce dernier est enveloppé d'un tissu qui plonge dans l'eau. Pendant la mesure, ils sont ventilés pour favoriser l'échange.
L'évaporation de l'eau contenue dans le tissu provoque le refroidissement du bulbe, c'est ce qui correspond à la température du" bulbe humide".
Plus l'air ambiant est sec, plus l'évaporation est importante, ce qui augmente l'écart entre les 2 températures.
A l'inverse si l'air est saturé, la différence de température est nulle.

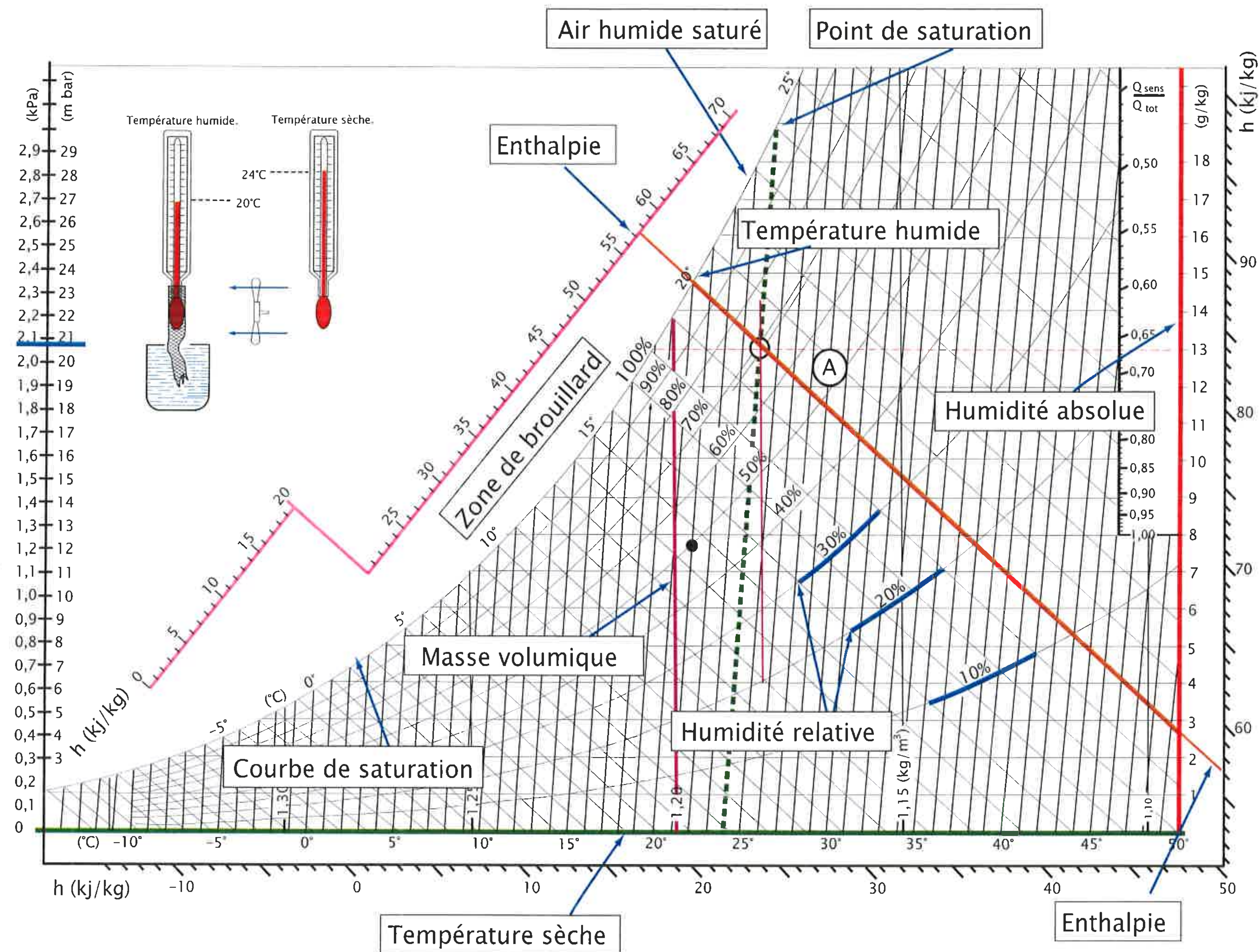


Pour la précision des relevés, des précautions doivent être prises avant l'emploi d'un psychromètre :

- ≈ retirer la gaze ou la chaussette du bulbe humide et vérifier que les températures des 2 thermomètres sont identiques,
- ≈ privilégier si possible de l'eau distillée ou déminéralisée,
- ≈ utiliser de l'eau à la température du local.

> Le tableau de la page de gauche nous permet de calculer l'humidité relative en fonction des températures sèches et humides.
>
> Exemple : 10°C au bulbe sec et 5,5°C au bulbe humide : écart de 4,5 K.
> Cette situation correspond à une humidité relative de 49%.

Description diagramme psychrométrique.



h (kj/kg) 90 80 70 60 50

Description du diagramme psychrométrique et tracé du point A.

Température sèche °C (Diagramme D1). θs ou ts. C'est l'axe horizontal situé à la partie inférieure du diagramme.
Les lignes verticales (trait vert) appelées isothermes correspondent à des lignes où la température sèche est constante.
Valeur mesurée : 24 °C.

Température humide °C (Diagramme D2). θh ou th. La seconde valeur, 20°C, est située sur la courbe de saturation. De cette courbe part une ligne oblique qui croise l'isotherme 24°C, l'intersection définit le point A.
Les lignes obliques sont appelées **isentalpes.**

Le point A est positionné, la lecture du diagramme permet de compléter les autres caractéristiques.

Humidité absolue. (Diagramme D3) X ou W. L'axe vertical représente la teneur en vapeur d'eau.
Elle s'exprime en g/kg d'air sec. Point A = 13g/kg.

Pression partielle (Diagramme 3). Po. Elle s'exprime en kPa (kiloPascal) ou mbar (millibar). Point A = 20,8 mbar
Sur l'axe des ordonnées à gauche sont portées les pressions partielles de la vapeur d'eau contenue dans l'air.
La pression partielle résulte de l'humidité absolue, le rapport des pressions partielles correspond à l'humidité relative.
Point A : $\frac{20,8}{30,1}$ =0,69 soit 69%.

Point de rosée °C (Diagramme D 4). θr ou tr. Point A = 18°C. La ligne horizontale, pointillés rouges, est appelée **isohydre.**
Son intersection avec la courbe de saturation détermine le point de rosée de l'air considéré. C'est la température à laquelle l'air humide, en se refroidissant progressivement, arrive à saturation et provoque l'apparition de fines gouttelettes (rosée).

Humidité relative % (Diagramme D 4) Les courbes, annotées 50, 60 et 70 %, sont les lignes à humidité relative constante.
Elles définissent la quantité d'eau contenue dans l'air par rapport à sa saturation.
Le point A contient 13g d'eau, à saturation il peut contenir 18,9 g, l'humidité relative, **Hr** est donc : $\frac{13}{18,9} \approx$ 0,69 soit 69 %.

Enthalpie h (Diagramme D5) L'enthalpie est la quantité de chaleur totale contenue dans l'air considéré. Les valeurs sont situées sur des droites obliques perpendiculaires aux isenthalpes. Elle s'exprime en **kJ/kg.** Point A = 57,2 kJ/kg.

Masse volumique ρ (Diagramme D6) Lignes verticales, légèrement inclinées à gauche. C'est la masse d'un m^3 d'air dans les conditions considérées. Cette masse volumique ou ρ s'exprime en kg/m^3. Point A = 1,18 kg/m^3.
L'inverse de la masse volumique c'est le volume massique, il s'exprime en m^3/kg. Point A= 0,847 m^3/kg.

Repérage sur un diagramme.

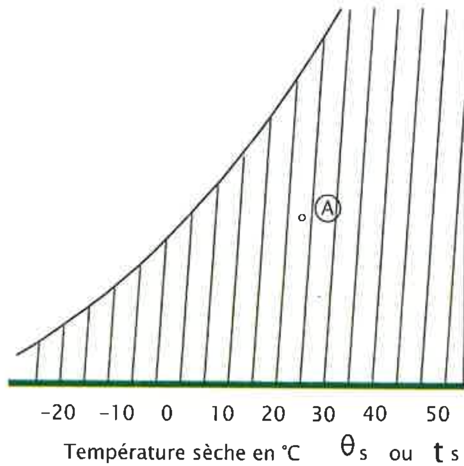


diagramme D 1

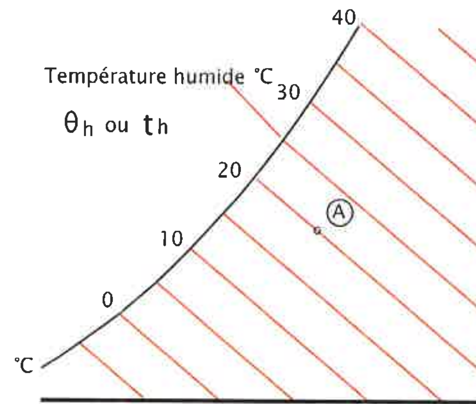


diagramme D2

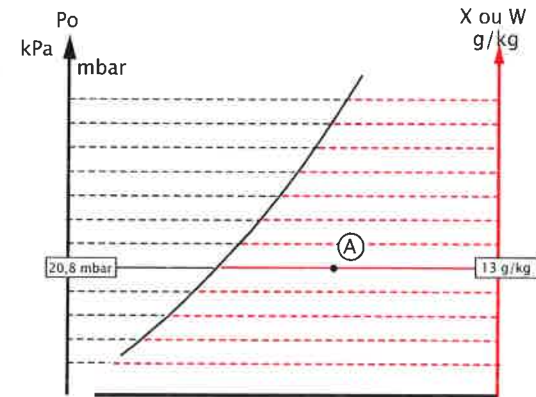


diagramme D3

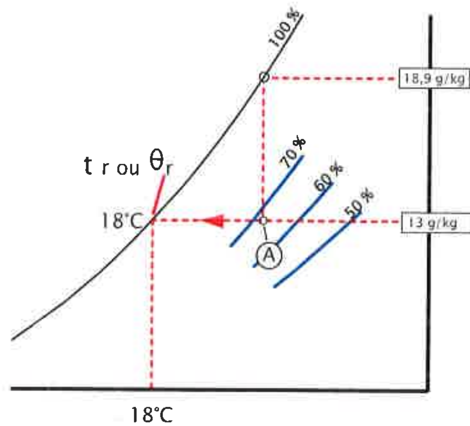


diagramme D4

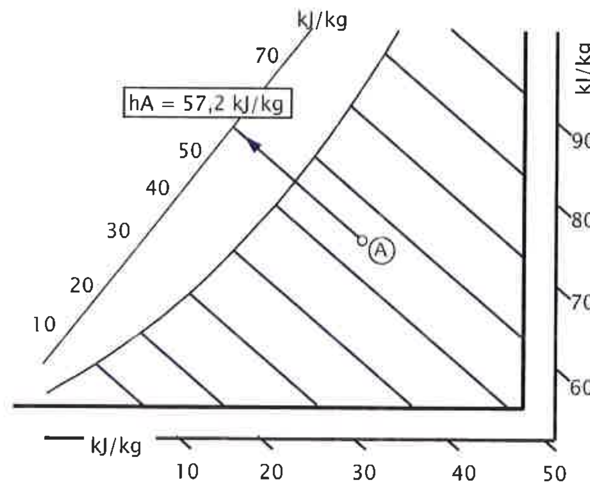


diagramme D5

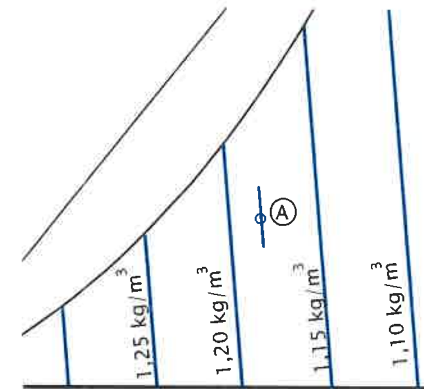
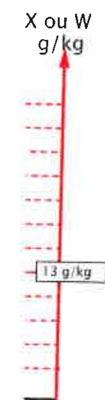


diagramme D6

Déte
L'air at
Le psyc
proprié
Les m
Après
Dans
L'air "
relati



Détermination des caractéristiques de l'air humide.

L'air atmosphérique est constitué :

- d'air sec composé d'azote (N_2) 78 %, d'oxygène (O_2) 21 %, de gaz carbonique (CO_2) 0,03 %, ainsi que de gaz rares,
- de vapeur d'eau facilement condensable dont la proportion est variable,
- d'impuretés.

Le psychromètre mesure 2 valeurs, la température sèche et la température humide. Ces températures déterminent l'ensemble des propriétés de l'air.

Les mesures effectuées à l'aide d'un psychromètre sont :

Paramètres	Symboles	Unités	Valeurs mesurées	Diagrammes
Température du bulbe sec	ts / θs	°C	24	D1
Température du bulbe humide	th / θh	°C	20	D2

Après report du point sur le diagramme, nous déterminons les caractéristiques manquantes.

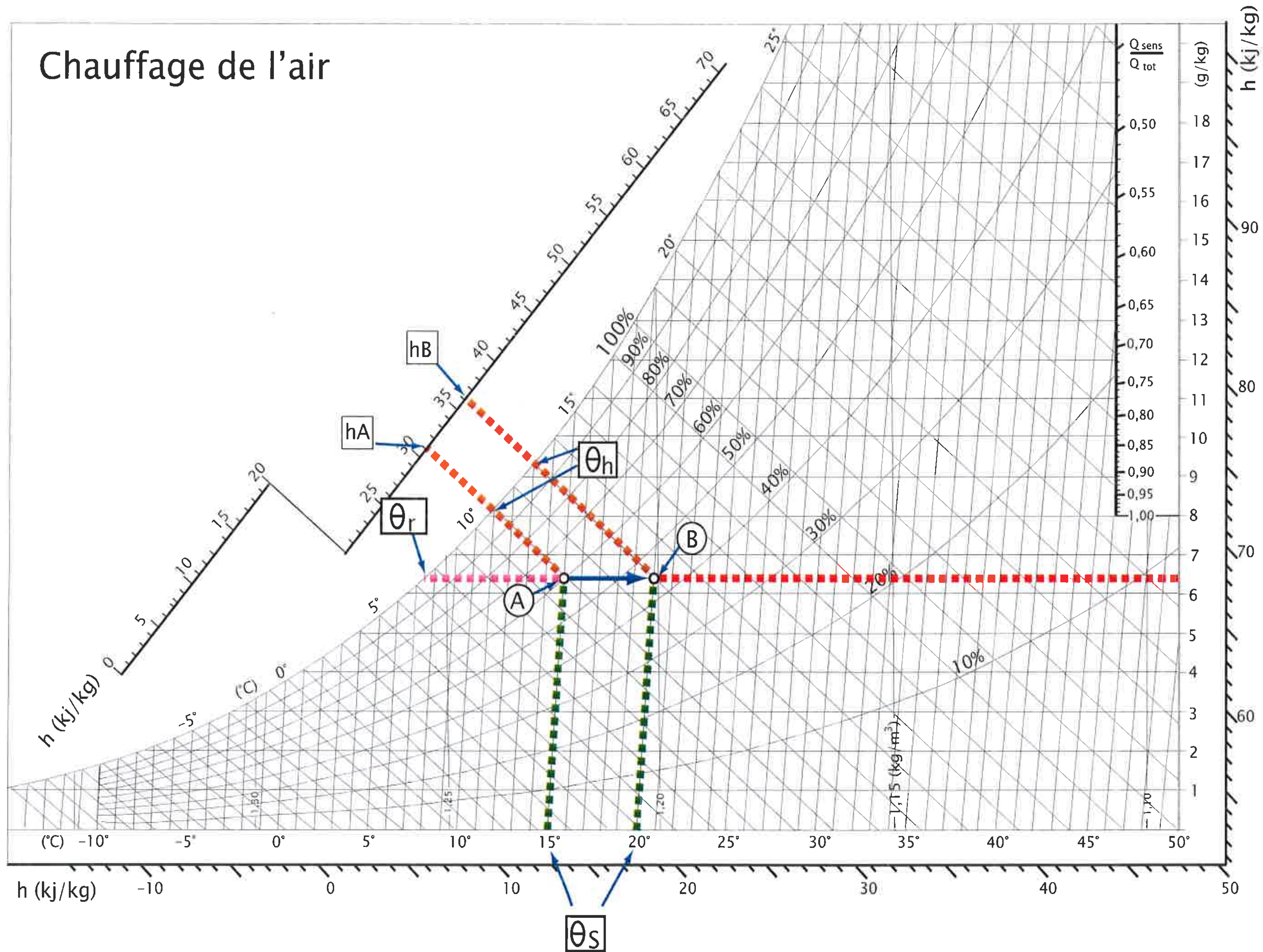
Humidité absolue	X / W	g/kg d'air sec	13	D3
Humidité relative	φ	%	69	D4
Enthalpie	h	kJ/kg	57,2	D5
Température de rosée	tr/ θr	°C	18	D4
Masse volumique	ρ	kg/m³	1,180	D6

Dans les prochains exemples, nous ne mentionnerons pas la pression partielle qui dépend de l'humidité absolue.

Pression partielle	P	mbar/kPa	20,8	D3

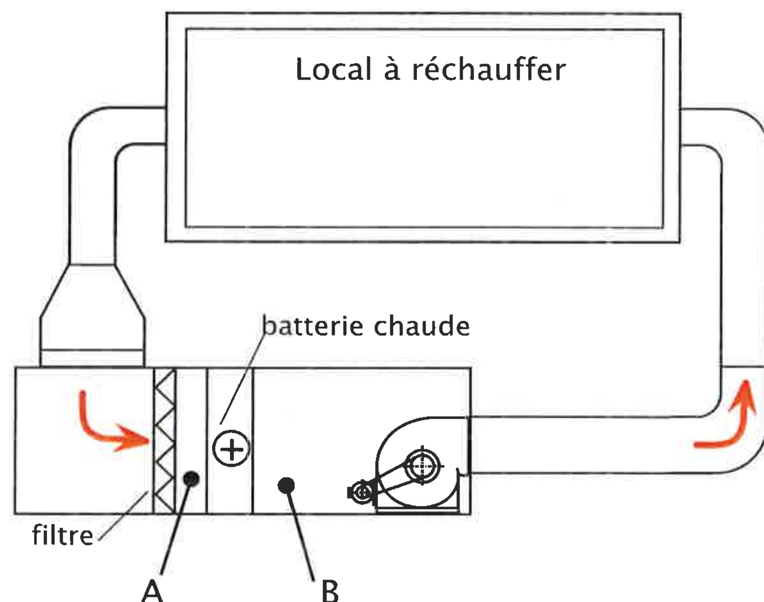


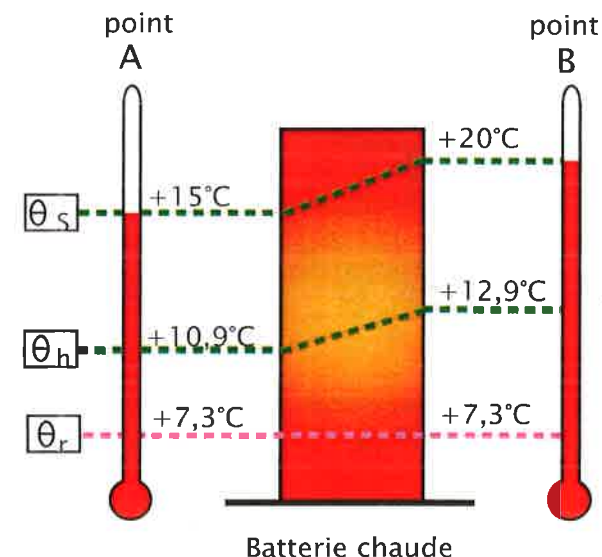
L'air "standard" utilisé par les climaticiens a les caractéristiques suivantes : température sèche 21 °C, 50 % d'humidité relative sous une pression de 1013 mbar. La masse volumique est de 1,18 kg/ m³ et sa chaleur massique de 1kj/kg.K.



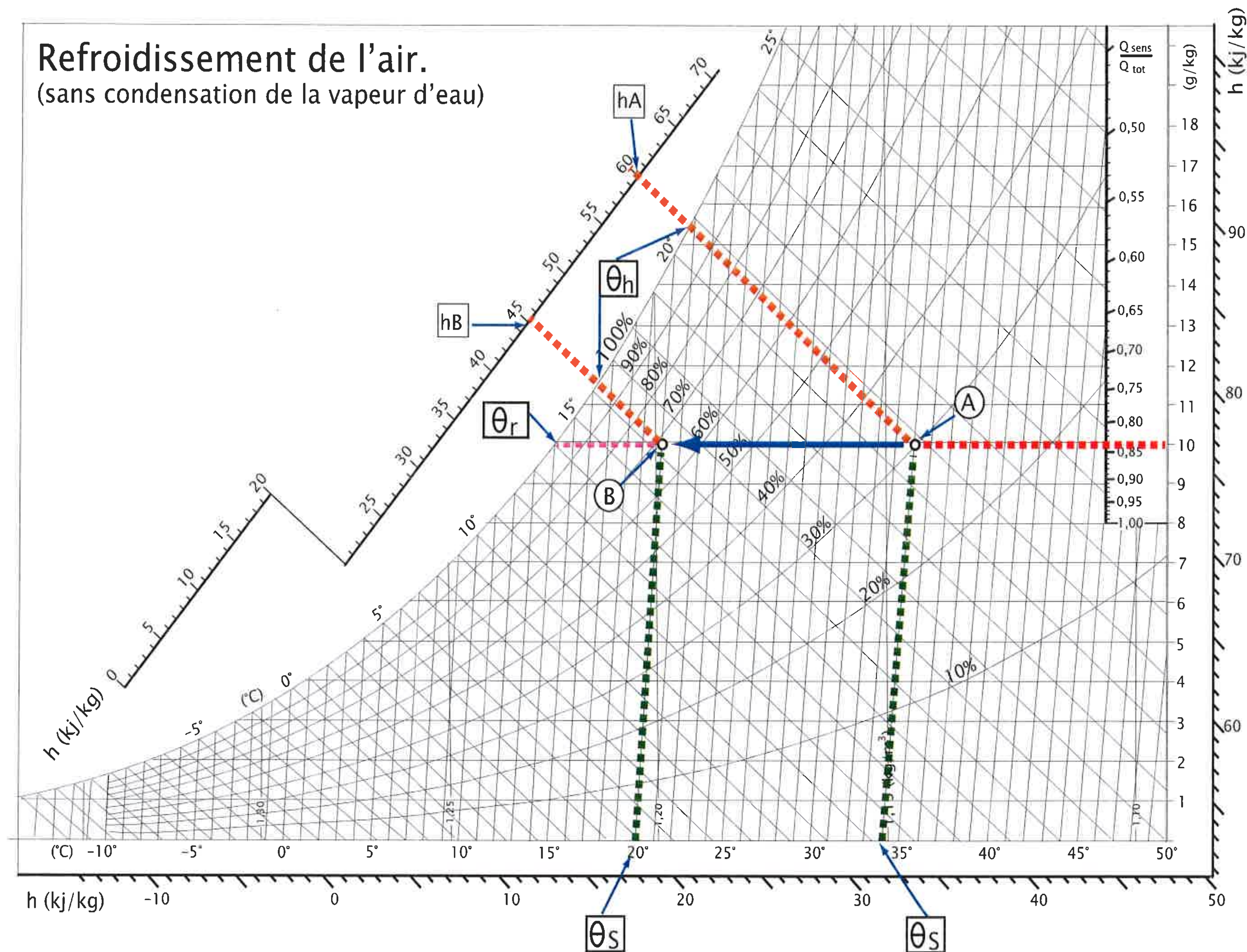
Chauffage de l'air
hB
hA
θr
θh
θs
A
B
h (kj/kg)
(°C)
Q sens / Q tot
(g/kg)
h (kj/kg)
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
1,15 (kg/m³)

Chauffage de l'air.

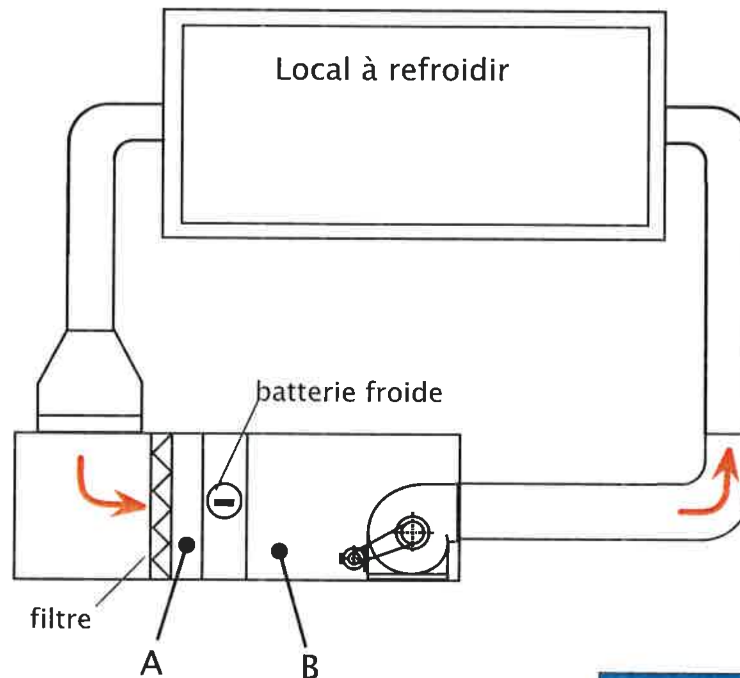


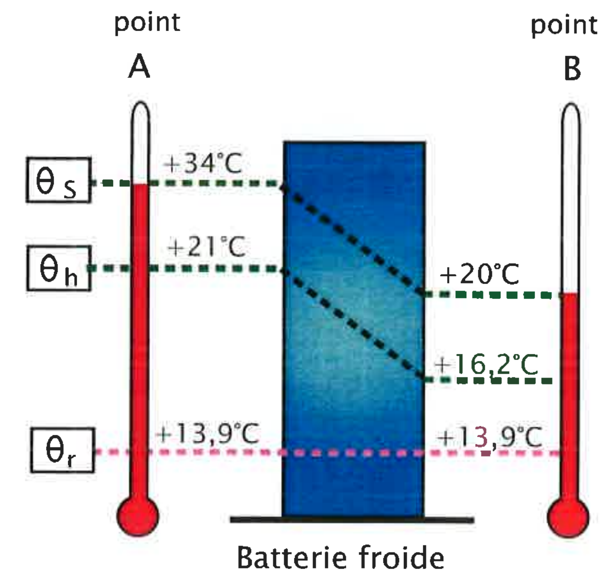


	Point A		Point B
T° du bulbe sec	+15 °C	↗	+20°C
T° du bulbe humide	+10,9 °C	↗	12,9 °C
Humidité absolue	6,3 g/kg	→	6,3 g/kg
Humidité relative	60 %	↘	44 %
Enthalpie	31 kj/kg	↗	36 kj/kg
T° de rosée	+7,3 °C	→	+7,3 °C
Masse volumique	1,214 kg/m^3	↘	1,192 kg/m^3


Refroidissement de l'air.
(sans condensation de la vapeur d'eau)
hA
hB
θh
θr
A
B
θs
θs
h (kj/kg)
Q sens / Q tot
(g/kg)
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%

Refroidissement de l'air (sans condensation de vapeur d'eau).

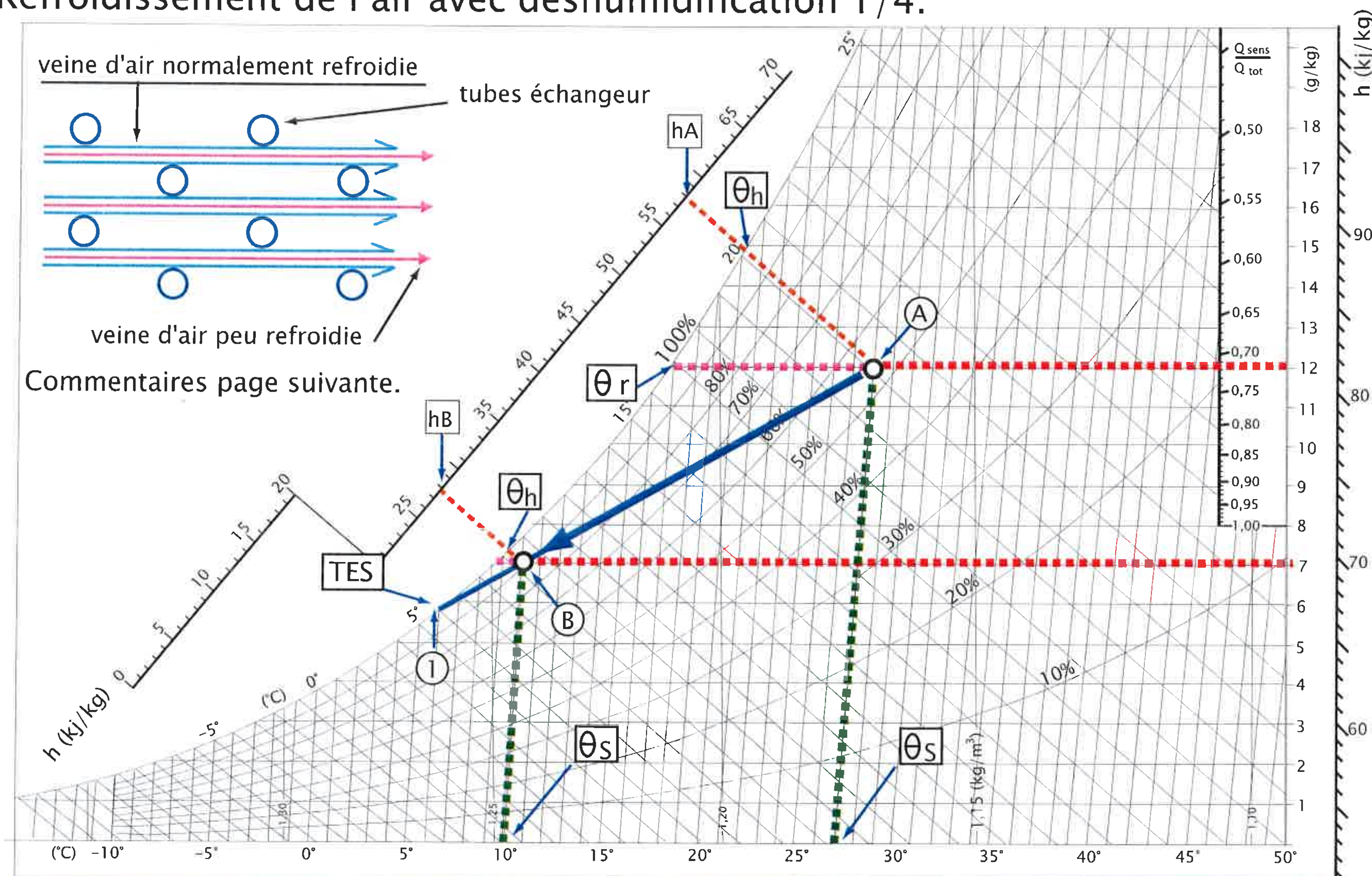




	Point A		Point B
T° du bulbe sec	+34 °C	↘	+20°C
T° du bulbe humide	+21 °C	↘	16,2 °C
Humidité absolue	10 g/kg	→	10 g/kg
Humidité relative	30 %	↗	68 %
Enthalpie	59,5 kj/kg	↘	45,5 kj/kg
T° de rosée	+13,9 °C	→	+13,9 °C
Masse volumique	1,143 kg/m³	↗	1,198 kg/m³

h (kj/kg) 90 80 70 60 50

Refroidissement de l'air avec déshumidification 1/4.



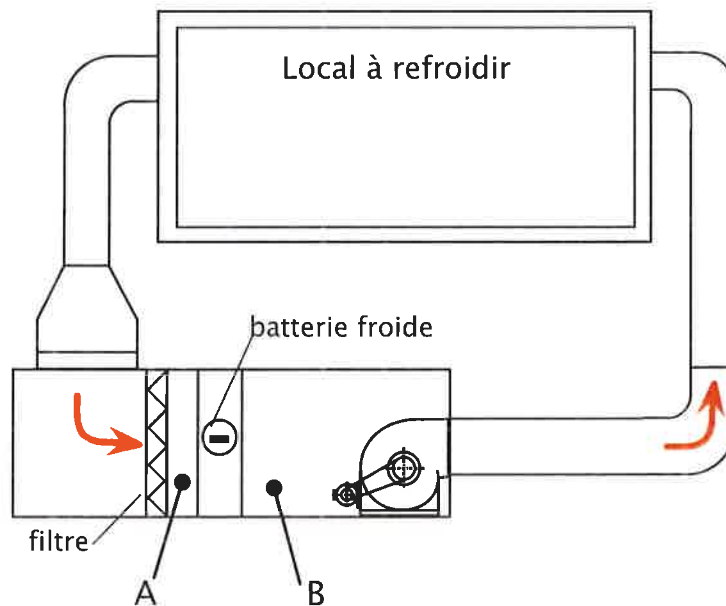
Pour obtenir la TES souhaitée, ici 6°C, le fluide réfrigérant aura pour valeur :

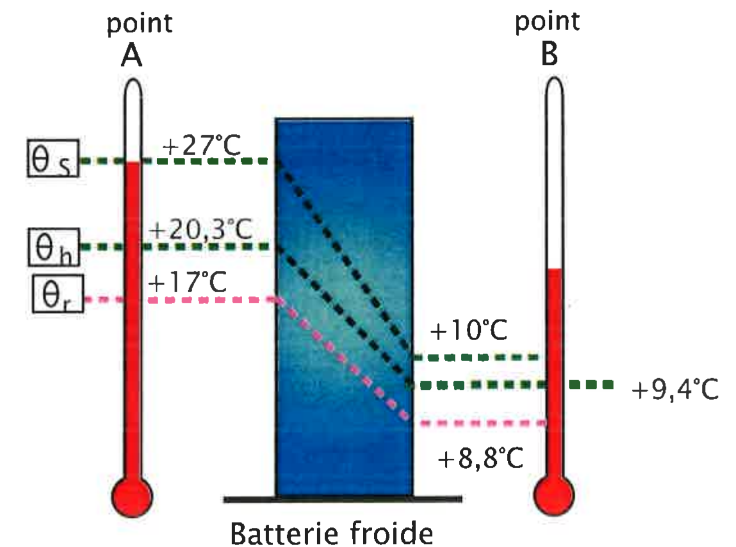
⇨ dans une batterie à détente directe : TES = température d'évaporation + 4 à 6K, soit une température d'évaporation de 0 à 2°C.

⇨ dans une batterie avec frigoporteur : t1 = température entrée batterie, t2 = température sortie batterie, valeur usuelle t1-t2 =5K. TES ≃ t2 soit la température de sortie du fluide frigoporteur, dans l'exemple : 1°C.

Ref

Refroidissement de l'air avec déshumidification 2/4.





	Point A		Point B
T° du bulbe sec	+27 °C	↘	+10°C
T° du bulbe humide	+20,3 °C	↘	+9,4 °C
Humidité absolue	12,1 g/kg	↘	7,1 g/kg
Humidité relative	54 %	↗	92 %
Enthalpie	58 kj/kg	↘	27,8 kj/kg
T° de rosée	+17 °C	↘	+8,8 °C
Masse volumique	1,170 kg/m^3	↗	1,243 kg/m^3

h (kj/kg) 90 80 70 60

Refroidissement de l'air avec déshumidification 3/4.

Pour obtenir une déshumidification de l'air, la surface de l'échangeur doit se trouver à une température ≤ au point de rosée de l'air traité, dans notre cas 17°C. Pour parvenir à la température souhaitée, une surface d'échangeur à +10°C serait suffisante pour atteindre notre objectif. En pratique, l'air qui traverse un évaporateur n'est pas traité uniformément.

Deux phénomènes contrarient les résultats souhaités :

- les veines d'air ne sont pas toutes en contact avec les tubes de l'échangeur, cf. page précédente, l'air est alors plus ou moins refroidi,
- les températures des échangeurs ne sont pas constantes entre le début et la fin de l'échangeur.
  Cela se traduit par un Δθ (air/ tubes) fluctuant.

Pour corriger ces phénomènes, il faut donc choisir une température de surface plus basse. C'est le point 1 sur le diagramme. Il est dans le prolongement de l'évolution de l'air entre A et B. Ce point est dénommé TES ou ADP.
TES : Température Equivalente de Surface, ADP : Apparatus Dew Point.

L'efficacité de l'échangeur peut être calculée en mesurant les segments : $\overline{AB}$ et $\overline{A1}$: $\frac{\overline{AB}}{\overline{A1}} \times 100 = \frac{53}{63} \times 100 = 84\%$.

Le facteur de bipasse de la batterie est donc de 16 %.

Le passage sur l'évaporateur génère 2 évolutions :

- une baisse de la température, c'est de la chaleur sensible (changement de température sans changement d'état).
  Evolution entre les points 2 et B.
- une diminution de l'humidité absolue, c'est de la chaleur latente (changement d'état, ici condensation, sans changement de température). Evolution entre les points A et 2.

Ces 2 évolutions prennent la forme d'une droite qui relie le point A au point B. Cette droite est appelée "droite de soufflage" ou "droite du local". La pente nous donne la proportion entre la chaleur sensible et la chaleur latente.
Selon les documents, cette droite est dénommée SHF (Sensible Heat Factor) ou FCS (Facteur de Chaleur Sensible).

$$\text{SHF ou FCS} = \frac{\text{chaleur sensible}}{\text{chaleur totale}} = \frac{h2-hB}{hA-hB}$$

Suivant le type de diagramme, ce rapport est obtenu graphiquement en reportant une parallèle au segment A B :

- à droite du diagramme à partir du point pivot (21°C, 50% HR) pour croiser l'échelle verticale graduée de 0,4 à 1,
- à gauche du diagramme sur un "rapporteur" comportant les valeurs calculées.

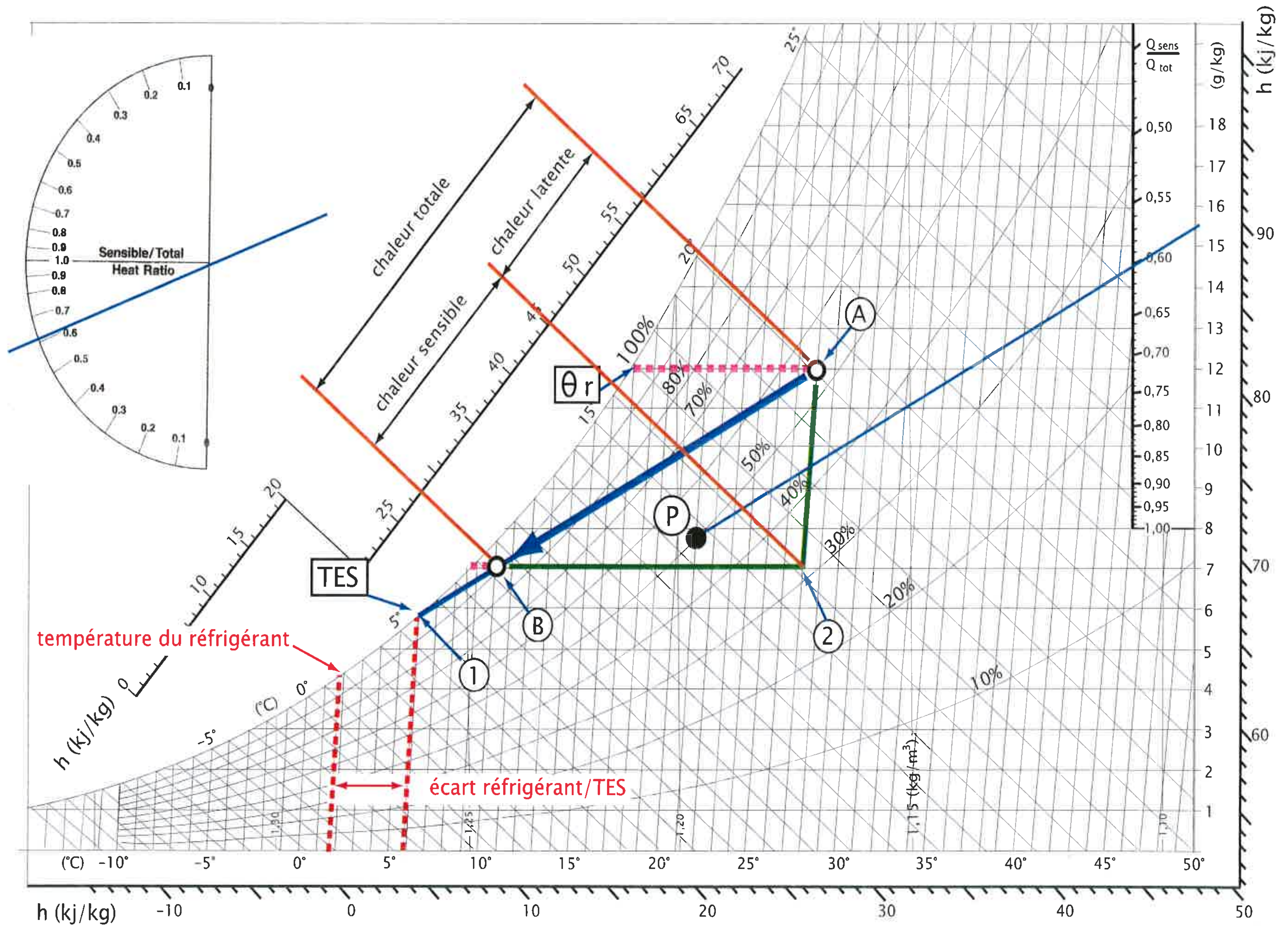


raité,
notre

ıoins

ıs le

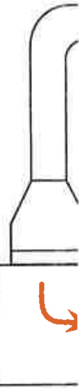
Refroidissement de l'air avec déshumidification 4/4.



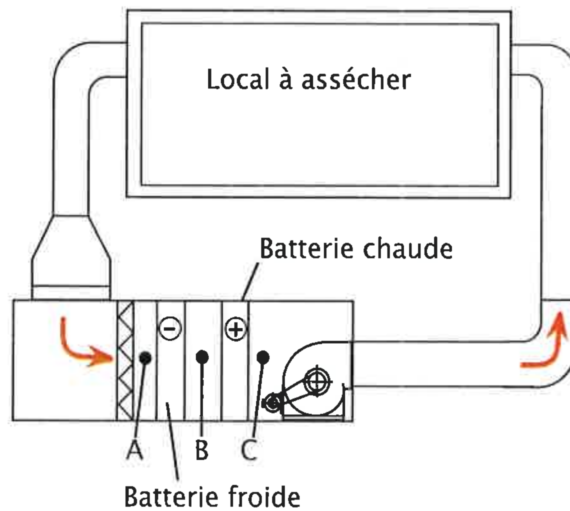
Séchage de l'air.

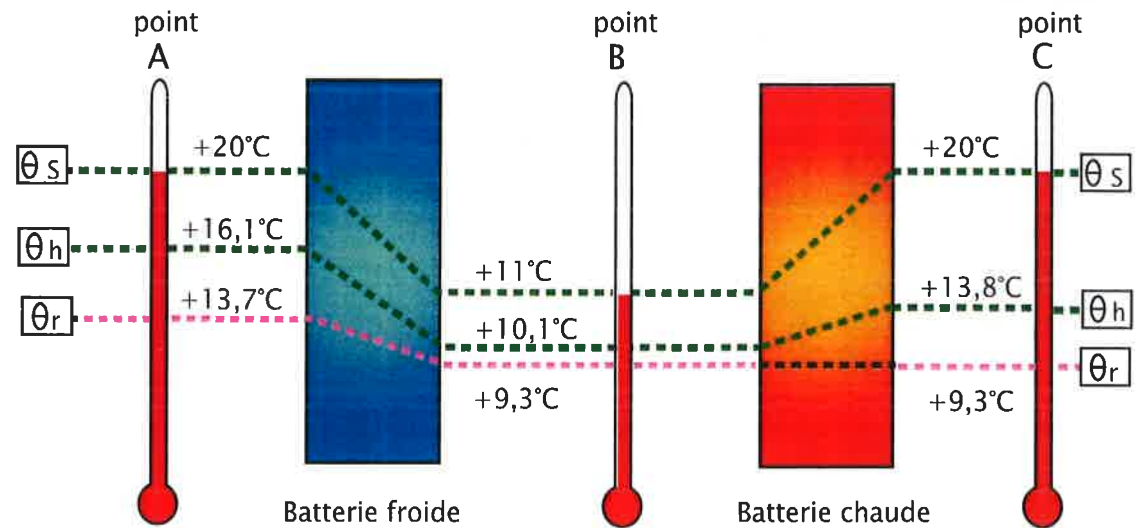
hA
hC
hB
A
B
C
TES
θ_S
h (kj/kg)
(g/kg)
Q sens / Q tot
(°C)

Sé



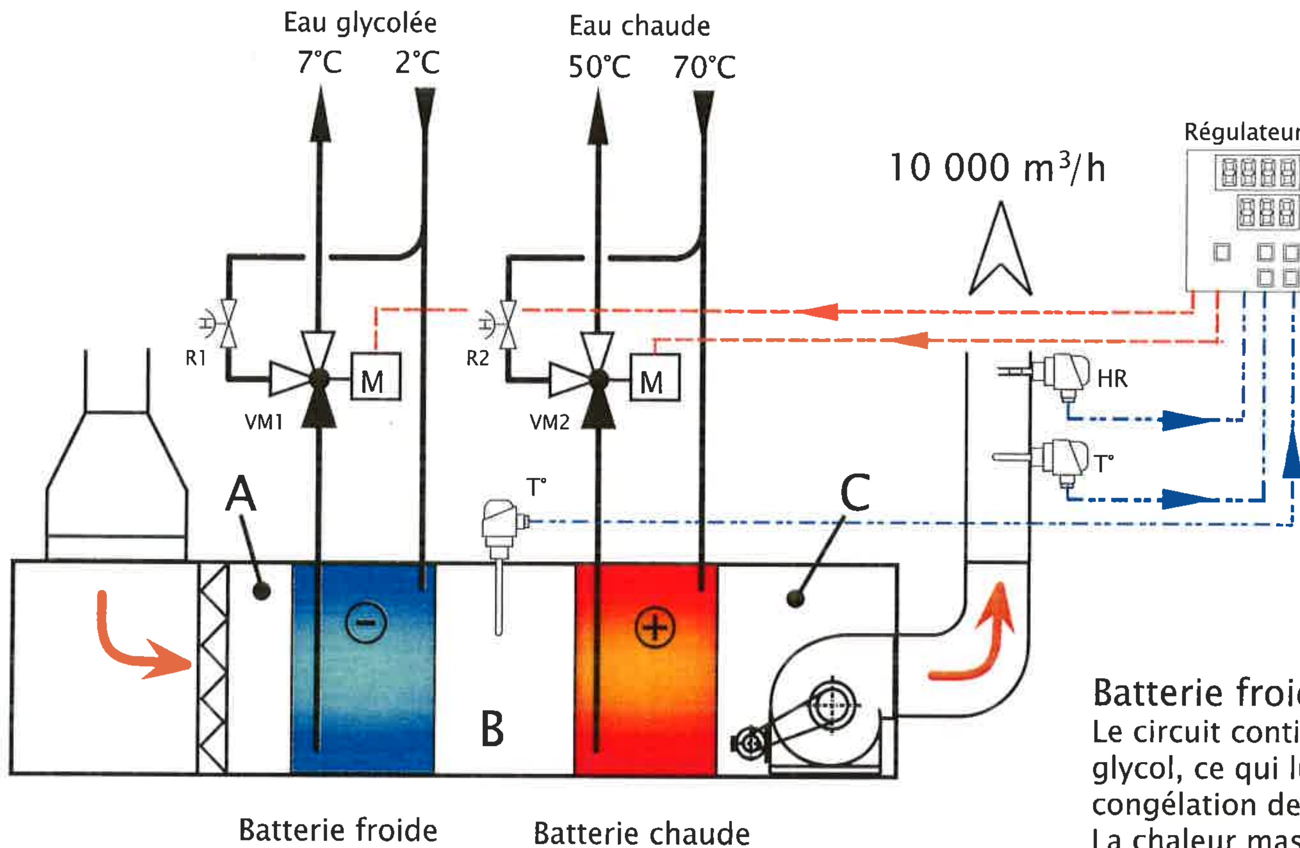
Séchage de l'air.





	Point A		Point B		Point C
T° du bulbe sec	+20 °C	↘	+11°C	↗	+20°C
T° du bulbe humide	+16,1 °C	↘	+10,1 °C	↗	+13,8 °C
Humidité absolue	9,8 g/kg	↘	7,3 g/kg	→	7,3 g/kg
Humidité relative	67 %	↗	89 %	↘	50 %
Enthalpie	45 kj/kg	↘	29,5 kj/kg	↗	38,6 kj/kg
T° de rosée	+13,7 °C	↘	+9,3 °C	→	+9,3 °C
Masse volumique	1,196 kg/m^3	↗	1,240 kg/m^3	↘	1,205 kg/m^3

Séchage de l'air



Batterie froide.
Le circuit contient 25 % de monoéthylène glycol, ce qui lui donne un point de congélation de -12°C.
La chaleur massique est de 3,8 kj/kg.k.
La masse volumique est de 1043 kg/m3.

	Point A		Point B		Point C
T° du bulbe sec	+20 °C	↘	+11 °C	↗	+20°C
T° du bulbe humide	+16,1 °C	↘	+10,1 °C	↗	+13,8 °C
Humidité absolue	9,8 g/kg	↘	7,3 g/kg	→	7,3 g/kg
Humidité relative	67 %	↗	89 %	↘	50 %
Enthalpie	45 kj/kg	↘	29,5 kj/kg	↗	38,6 kj/kg
T° de rosée	+13,7 °C	↘	+9,3 °C	→	+9,3 °C
Masse volumique	1,196 kg/m³	↗	1,240 kg/m³	↘	1,205 kg/m³

Batterie chaude.
Le circuit contient de l'eau dont la chaleur massique est de 4,18kJ/kg.K.
La masse volumique est de 977,8 kg/m3 à 70°C.

Calculs se rapportant au séchage de l'air.

Bien que l'objectif de ce carnet ne soit pas de développer des calculs, une application chiffrée aide à mieux appréhender les unités, les transformations et à vérifier l'équation aux dimensions (E.D.).

Le débit volume du ventilateur est de 10 000 m³/h, le φ de l'air à l'entrée du ventilateur est de 1,205 kg/m³, ce qui donne à l'installation un débit massique de : $\frac{10000}{3600} \times 1{,}205 = 3{,}346 \text{ kg/s}$.

$$E.D. \rightarrow \frac{\cancel{m^3}}{s} \times \frac{kg}{\cancel{m^3}}$$

<u>Puissance de la batterie froide</u> : l'air évolue entre les enthalpies hA et hB, le débit est égal à 3,346 kg/s.

$$\Phi = (hA - hB) \times qm \rightarrow (45 - 29{,}5) \times 3{,}346 = 51{,}86\ kW \qquad E.D. \rightarrow \frac{kJ}{\cancel{kg}} \times \frac{\cancel{kg}}{s} \qquad Rappel : \frac{kJ}{s} = kW$$

<u>Puissance de la batterie chaude :</u> l'air évolue entre les enthalpies hB et hC.

$$\Phi = (hC - hB) \times qm \rightarrow (38{,}6 - 29{,}5) \times 3{,}346 = 30{,}44\ kW: \qquad E.D. \rightarrow \frac{kJ}{\cancel{kg}} \times \frac{\cancel{kg}}{s} \qquad Rappel : \frac{kJ}{s} = kW$$

Dans le cas particulier d'une batterie chaude, il est possible d'utiliser la formule : $qm \times C \times \Delta T$.

En effet, l'évolution de l'air sur cette batterie chaude se fait sans changement d'état, il s'agit de chaleur sensible, il n'y a ni condensation, ni évaporation. Outre l'augmentation de la température sèche, c'est l'humidité relative qui évolue de façon notable.

$$\Phi = qm \times C \times \Delta T \rightarrow 3{,}346 \times 1 \times 9 = 30{,}11\ kW \approx \text{à } 30{,}44\ kW. \qquad E.D. \rightarrow \frac{\cancel{kg}}{s} \times \frac{kJ}{\cancel{kg} \times \cancel{K}} \times \cancel{K} \quad Rappel : \frac{kJ}{s} = kW$$

<u>Transfert de l'énergie sur la batterie froide :</u>

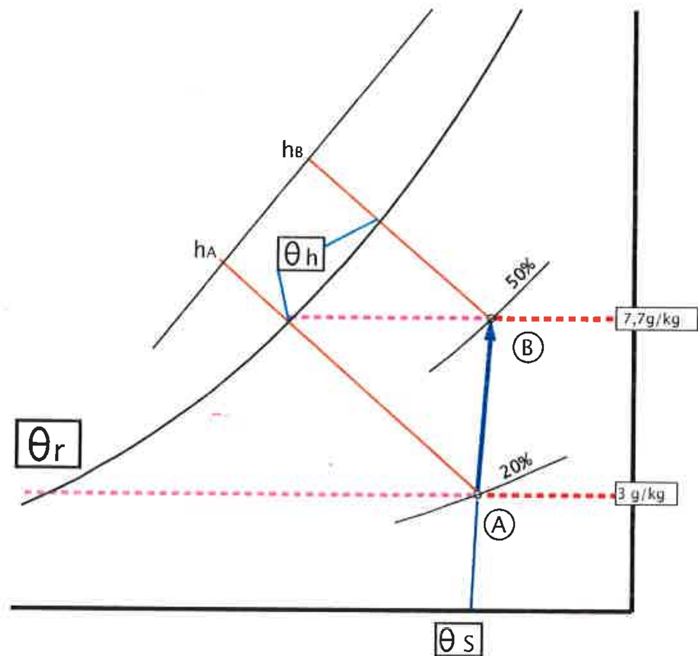
L'eau glycolée absorbe l'énergie contenue dans l'air, alors sa température augmente de 5K. Avec ces données, il est possible de calculer le débit d'eau glycolée nécessaire en appliquant la formule : $\Phi = qm \times C \times \Delta T$

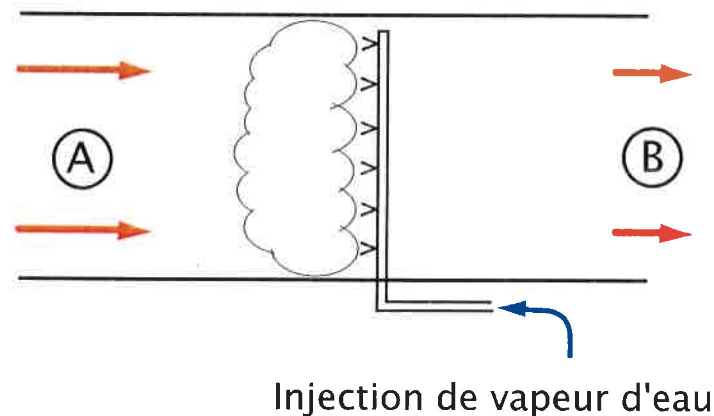
- Le débit masse (qm)$= \frac{\Phi}{C \times \Delta T} = \frac{51{,}86}{3{,}8 \times 5} = 2{,}729\ kg/s$
- Le débit volume horaire (qv) $= \frac{qm}{\rho} = \frac{2{,}729}{1043} \times 3600 = 9{,}42\ m^3/\text{h}$ $\quad .E.D. \rightarrow \frac{qm}{\rho} \rightarrow \frac{\cancel{kg}}{s} \times \frac{m^3}{\cancel{kg}} \rightarrow \frac{m^3}{s}$

<u>Transfert de l'énergie sur la batterie chaude :</u>

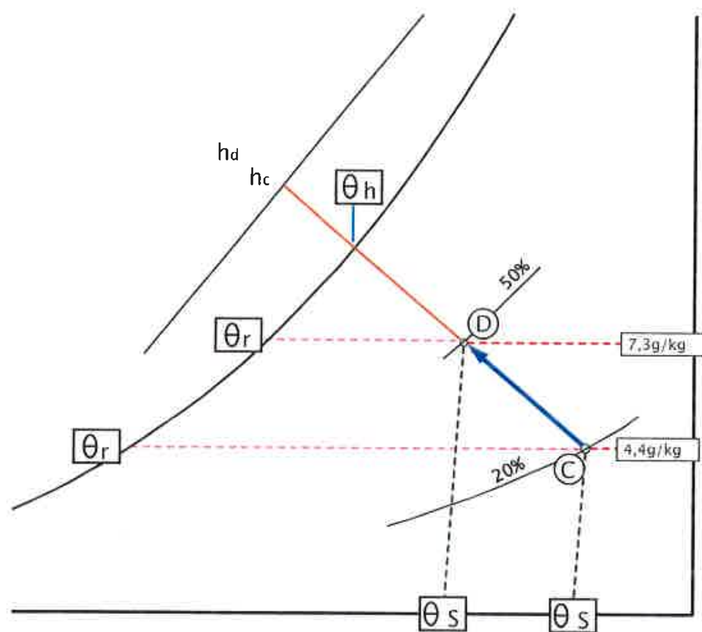
L'eau transmet à l'air son énergie, alors sa température baisse de 20K. Avec ces données, il est possible de calculer le débit d'eau nécessaire en appliquant la formule : $\Phi = qm \times C \times \Delta T$

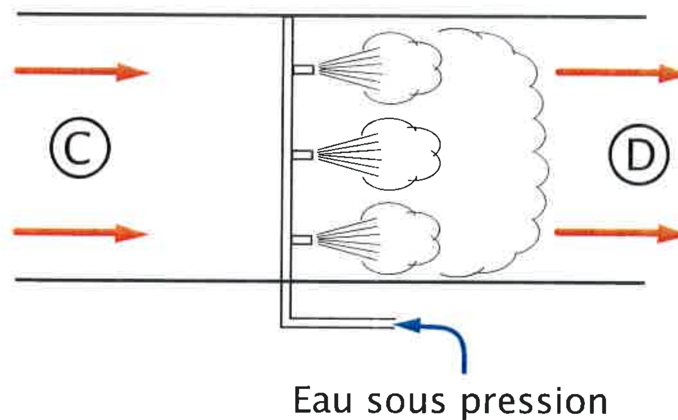
- Le débit masse (qm)$= \frac{\Phi}{C \times \Delta T} = \frac{30{,}44}{4{,}18 \times 20} = 0{,}364\ kg/s$
- Le débit volume horaire (qv) $= \frac{qm}{\rho} = \frac{0{,}364}{977{,}8} \times 3600 = 1{,}34 m^3/\text{h}$ $\quad .E.D. \rightarrow \frac{qm}{\rho} \rightarrow \frac{\cancel{kg}}{s} \times \frac{m^3}{\cancel{kg}} \rightarrow \frac{m^3}{s}$





Humidification par vapeur





Humidification par atomisation

Humidification par vapeur.

		Point A		Point B
T° bulbe sec	°C	21	→	21
T° bulbe humide	°C	10	↗	14,6
Humidité absolue	g/kg	3	↗	7,7
Humidité relative	%	20	↗	50
Enthalpie	kJ/kg	28,9	↗	40,8
T° de rosée	°C	-2,9	↗	10,2
Masse volumique	kg/m³	1,194	↘	1,185

L'injection de vapeur permet d'augmenter l'humidité absolue (g/kg air sec) sans modifier la température sèche de l'air.
Les humidificateurs produisent de la vapeur pure et stérile. Il n'y a donc pas de risque de générer et de propager des germes, en particulier des légionelles.
En effet, celles-ci sont détruites à partir de 60°C.

Un capteur d'hygrométrie transmet les corrections nécessaires à la centrale de production de vapeur. La communication s'opère par l'intermédiaire d'une boucle 0/10 V ou 4/20 mA.

Humidification par atomisation.

		Point C		Point D
T° bulbe sec	°C	27	↘	20
T° bulbe humide	°C	13,9	→	13,9
Humidité absolue	g/kg	4,4	↗	7,3
Humidité relative	%	20	↗	50
Enthalpie	kJ/kg	38,40	→	38,40
T° de rosée	°C	2,2	↗	9,3
Masse volumique	kg/m³	1,194	↘	1,185

L'atomisation consiste à réduire un corps en particules extrêmement fines.
On obtient ce fractionnement en injectant de l'eau sous forte pression dans de petits orifices, des gicleurs.
Les particules d'eau sont petites et nombreuses, ce qui favorise leur évaporation car elles offrent une grande surface d'échange.
Les considérations d'hygiène dépendent bien évidemment de la qualité de l'eau utilisée.
Quelle que soit la température de l'eau employée, l'évolution est quasiment adiabatique.

Local à traiter

E

F

BC

Rampes de pulvérisation

gicleurs

Séparateur de gouttelettes

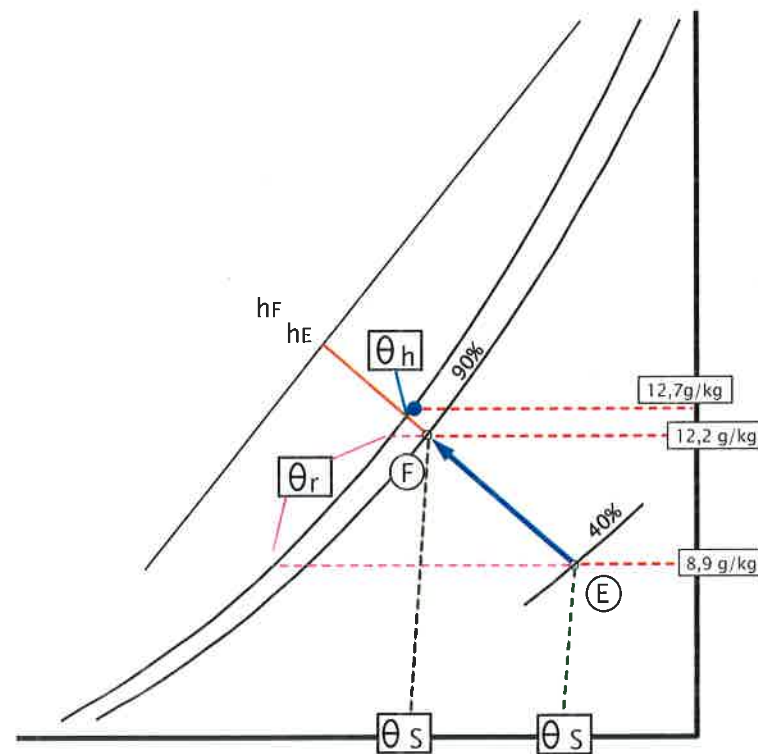
Trop plein

bac

Robinet à flotteur

Robinet de réglage
de la déconcentration.

Pompe de recyclage



Eau recyclée

Laveur d'air

Le laveur d'air.

Le laveur d'air est inséré dans un caisson de traitement d'air (CTA). Il permet d'obtenir des évolutions de température ou de teneur en eau de l'air traité. Le principe de base est représenté sur la page de gauche.

A partir d'un bac, une pompe alimente sous pression des rampes de pulvérisations. L'eau ainsi pulvérisée doit se mélanger à l'air en circulation dans le caisson. Le mélange est d'autant plus efficace que la surface d'échange est importante.

Les gicleurs, fixés sur les rampes de pulvérisations, produisent de fines gouttelettes qui vont augmenter la surface d'échange entre l'air et l'eau. La vitesse de l'air dans le caisson, la pression de la pompe, le type et le nombre de gicleurs contribuent à améliorer l'efficacité du laveur. Le laveur d'air est équipé d'un séparateur qui retient les gouttelettes et homogénéise le mélange air/eau.

Laveur d'air à eau recyclée.

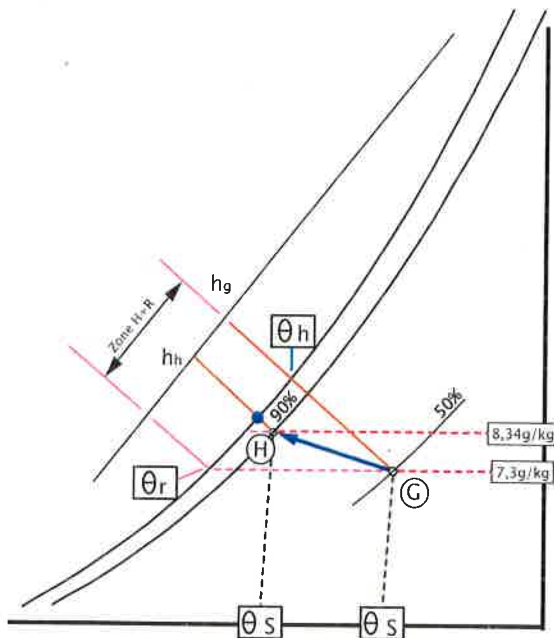
		Point E		Point F
T° bulbe sec	°C	27	↘	18,8
T° bulbe humide	°C	17,8	→	17,8
Humidité absolue	g/kg	8,9	↗	12,2
Humidité relative	%	40	↗	90
Enthalpie	kJ/kg	49,8	→	49,8
T° de rosée	°C	12,25	↗	17
Masse volumique	kg/m³	1,174	↗	1,247

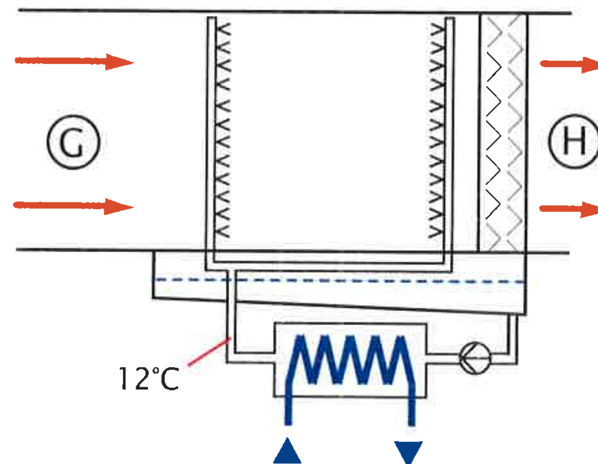
Dans ce cas, l'eau dans le bac atteint une température proche de la température de l'air en sortie du laveur. L'évolution est située sur une isenthalpe (enthalpie constante).

Du fait de l'abaissement de la température sèche, il peut être nécessaire de mettre en place une batterie chaude après le laveur pour retrouver la température d'origine (27°C).

L'usage d'un laveur d'air ne conduit pas nécessairement l'air sur la courbe de saturation; dans notre exemple, un rendement de 1 fournirait 12,7 g/kg à l'air (point bleu).

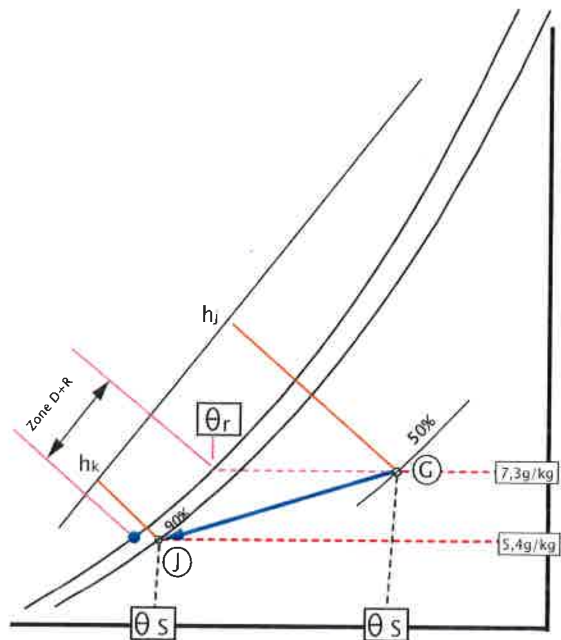
Important : les laveurs d'air ne sont plus utilisés pour traiter l'air de locaux où séjournent des personnes. En effet, les risques de propagation de légionelles sont probables, ils sont donc réservés à des usages industriels. Prolifération des légionelles de 25 à 45°C.

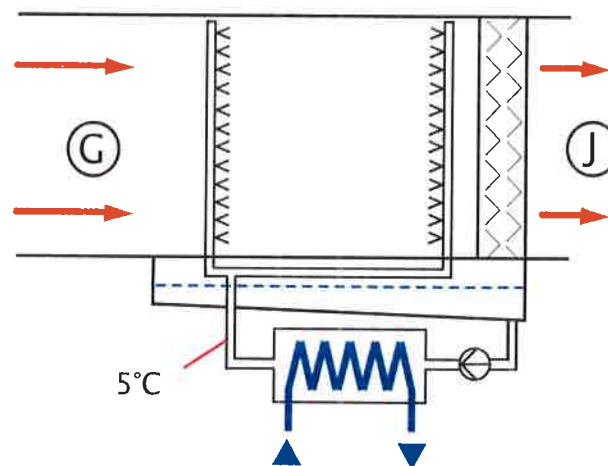




Eau refroidie à 12°C

Humidification et refroidissement par laveur d'air





Eau refroidie à 5°C

Déshumidification et refroidissement par laveur d'air.

Laveurs d'air à eau refroidie.

Eau refroidie à +5°C (Points G et J)

	Point H	Point G	Point J
T° bulbe sec °C	12,9	20	6,5
T° bulbe humide °C	12	13,8	5,8
Humidité absolue g/kg	8,3	7,3	5,4
Humidité relative %	90	50	90
T° de rosée °C	11,3	9,3	5

Eau refroidie à +12°C (Points H et G)

Les laveurs d'air sont équipés d'échangeurs qui maintiennent la température de l'eau à une valeur constante.

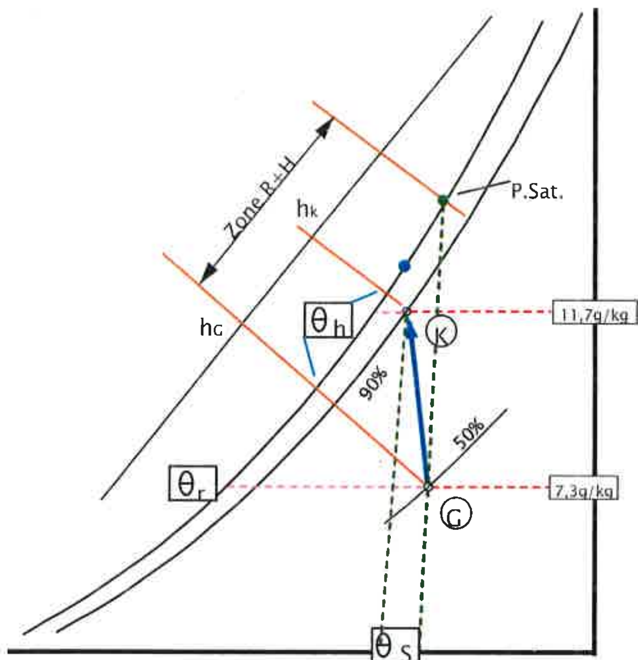
Eau refroidie à +12°C

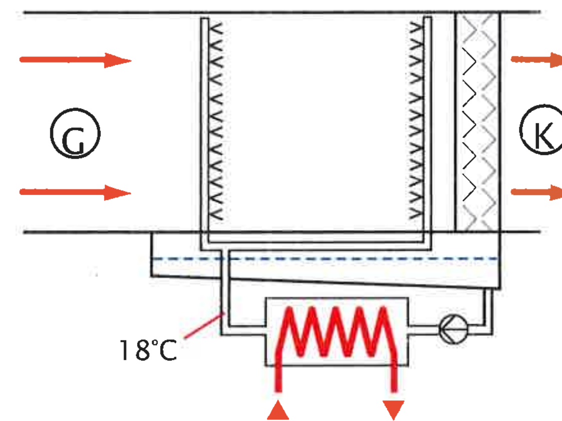
La température du point H est située entre la température du bulbe humide (13,8°C) et la température de rosée (9,3°C) du point G. Sur le diagramme, c'est la zone repérée H+R. Dans ces conditions, nous obtenons le refroidissement et l'humidification de l'air.

Les installations de "froid humide" font appel à ce principe pour refroidir rapidement et conserver les végétaux en maintenant une hygrométrie élevée (0,6/1°C HR 98 %).

Eau refroidie à +5°C

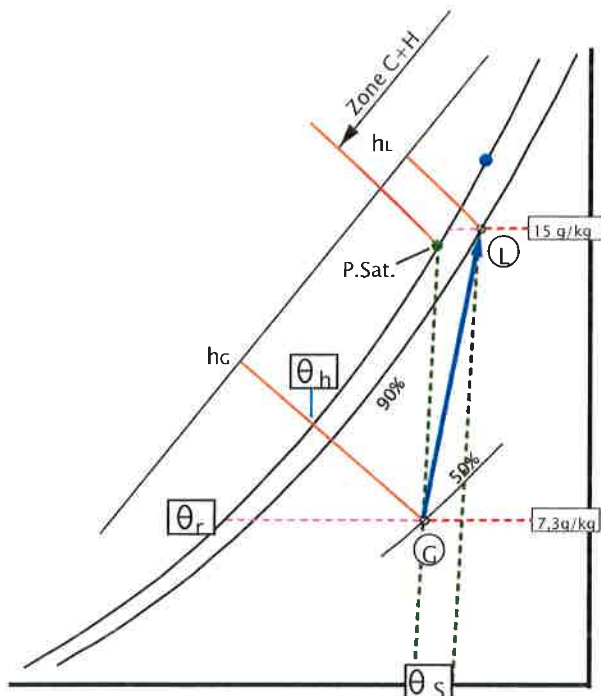
- Dans cet exemple, la température du point J est < à la température de rosée du point G. Sur le diagramme, c'est la zone repérée D+R. Pour ne pas inverser l'évolution, passage de D+R à H+R, il faut veiller à maintenir la température de l'eau sous la température de rosée du point G. L'évolution de l'air atteindrait le point bleu si le laveur avait un rendement égal à 1. L'eau refroidie peut être issue d'un bac à eau glacée, technique qui permet un stockage économique à certaines périodes de la journée.

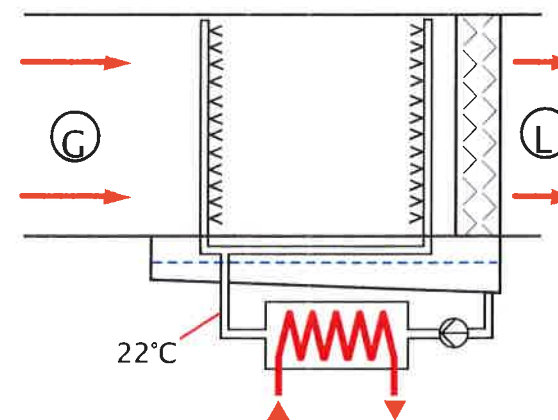




Eau réchauffée à 18°C

Refroidissement et humidification par laveur d'air





Eau réchauffée à 22°C

Rechauffement et humidification par laveur d'air

Lav

Les

Eau

La t

satu

Dan

Si n

Le p

Eau

Dan

est

Sur

veill

Si n

Laveurs d'air à eau réchauffée.

Eau réchauffée à +22°C (Point G, Point L)

		Point K	Point G	Point L
T° bulbe sec	°C	18	20	22
T° bulbe humide	°C	16,9	13,8	20,8
Humidité absolue	g/kg	11,7	7,3	15
Humidité relative	%	90	50	90
T° de rosée	°C	16,3	9,3	20,3

Eau réchauffée à +18°C (Point K, Point G)

Les laveurs d'air sont équipés d'échangeurs qui maintiennent la température de l'eau à une valeur constante.

Eau réchauffée à +18°C

La température du point K est située entre la température du bulbe humide (13,8°C) et la température de saturation (20°C) du point G. Sur le diagramme, c'est la zone repérée R+H.

Dans ces conditions, nous obtenons le refroidissement et l'humidification de l'air.

Si nous avions un laveur avec un rendement égal à 1, l'évolution de l'air atteindrait le point bleu.

Le point vert correspond au point de saturation de l'air du point G.

Eau réchauffée à +22°C

Dans cet exemple, la température du point L est > à la température de saturation du point G. Cette saturation est représentée par le point vert.

Sur le diagramme, c'est la zone repérée C+H. Pour ne pas inverser l'évolution, passage de C+H à R+H, il faut veiller à maintenir la température de l'eau au-dessus de la température de saturation du point G.

Si nous avions un laveur avec un rendement égal à 1, l'évolution de l'air atteindrait le point bleu.

l'air

Mélange dans une CTA

(1) air extrait

AR

AN + -

AN

M

caisson de mélange

M

qm AR

AR

(1)

Local à traiter

(1) (5)

(4) (5)

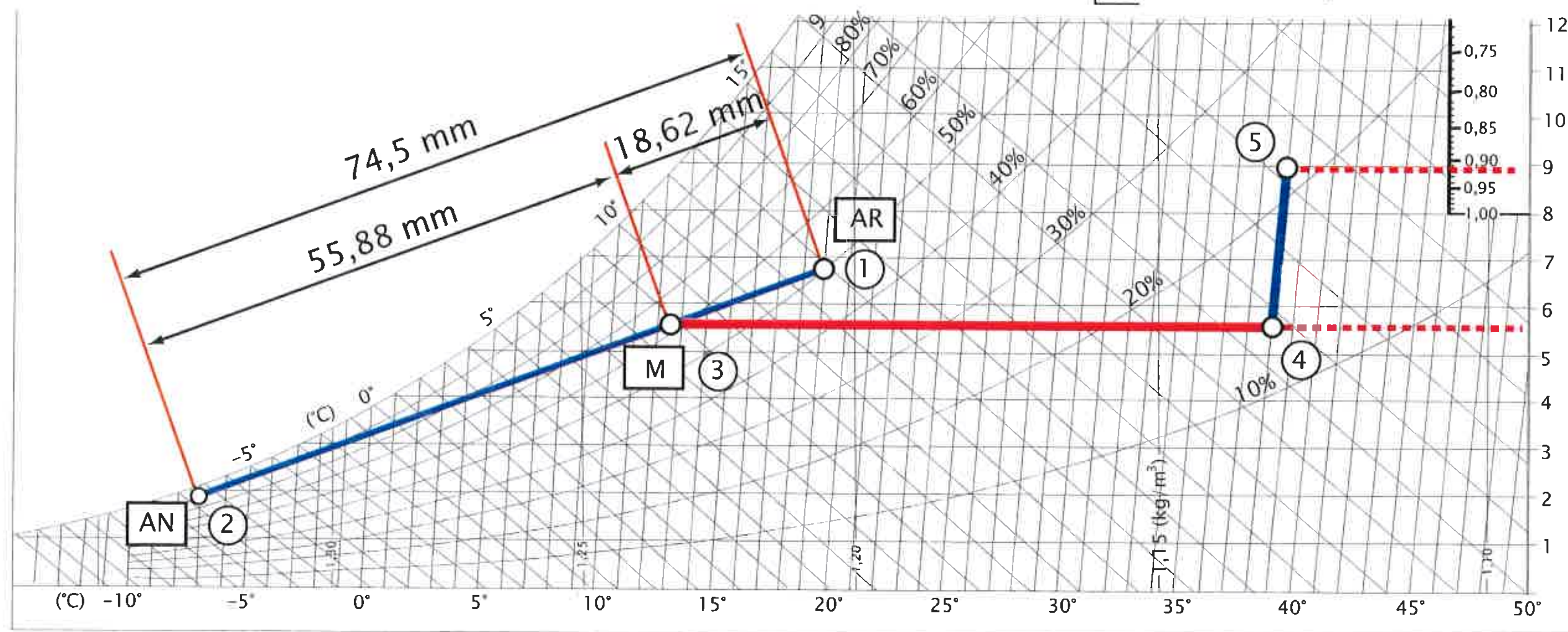
qm AN

AN (2)

M (3)

qm total

qv = 10 000 m^3/h



Mélange dans une centrale de traitement de l'air.

	¾ Point 1/ air repris	¼ Point 2 / air neuf	Mélange	Point 4	Point 5
T° bulbe sec °C	19	-7	12,5	38	38
T° bulbe humide °C	13	-7,5	8,90	18,9	21,2
Humidité absolue g/kg	6,8	2	5,6	5,6	8,7
Humidité relative %	50	90	62	14	21
Enthalpie kJ/kg	36,4	-2,1	26,80	52,6	60,6
T° de rosée °C	8,4	-8,3	5,6	5,5	11,90
Masse volumique kg/m³	1,195	1,325	1,225	1,133	1,130

Détermination des caractéristiques du mélange de 2 airs différents. Exemple : ¾ d'air repris et ¼ d'air neuf.

- par la méthode graphique qui consiste à mesurer la distance entre les points caractéristiques 1 et 2, dans notre cas 59,5 mm.
  Ce segment est partagé en 2 parties : 74,5 x 0,75 = 55,88 mm et 74,5 x 0,25 = 18,62 mm.
  Le point de mélange se situe du côté du plus grand débit, soit à 18,62 mm du point 1.
- par la loi des mélanges qui nous permet de déterminer la température du bulbe sec.

Température du bulbe sec au point de mélange $M = \frac{(T°AN \times qm\ AN)+(T°AR \times qm\ AR)}{qm\ total}$

Au préalable, nous devons calculer le débit masse (qm) d'air dans l'installation, sachant que le débit volume (qv) est de 10000 m³/h.

Le débit masse (qm) est donc égal à : $\frac{10000}{3600} \times 1{,}130 = 3{,}138$ kg/s $E.D. \rightarrow \frac{m^3}{s} \times \frac{kg}{m^3}$

Les débits masse se répartissent de la façon suivante : AR =3,138 × 0,75 = 2,3535 kg/s, AN= 3,138 × 0,25 = 0,7845 kg/s.

Température au point de mélange $M = \frac{(266 \times 0{,}7845)+(292 \times 2{,}3535)}{3{,}138} = 285{,}5\ K \quad soit\ 285{,}5 - 273 = 12{,}5°C$

Notes personnelles.

Les connexions.

Raccords à visser "flare" ou SAE.

Dans cette série, l'étanchéité s'obtient par écrasement d'une partie tendre, le cuivre recuit, entre 2 parties dures, le laiton. Lorsque le montage laiton/laiton s'impose, il faut placer un joint intercalaire en cuivre entre les 2 parties, exemple : un té vissé dans un raccord double femelle.
Le laiton utilisé contient 60 % de cuivre et 40 % d'étain (UE 60). La présence de cuivre dans le laiton interdit son usage dans un équipement fonctionnant avec de l'ammoniac.
Les dimensions de raccords disponibles vont de 1/4 à 3/4", ces dimensions correspondent aux matrices des dudgeonnières les plus répandues.
Le raccord double mâle à souder est en fait un raccord à braser, le meilleur résultat est obtenu avec une brasure à l'argent.
Désignations : l'ordre des informations pour définir un raccord est présenté sur la page de gauche.


Ecrou court.


Ecrou long.


Double mâle.


Réduction double mâle.


Double mâle à souder.


Capsule obturatrice.


Joint intercalaire.


Bouchon femelle.


Bouchon mâle.


Double femelle.

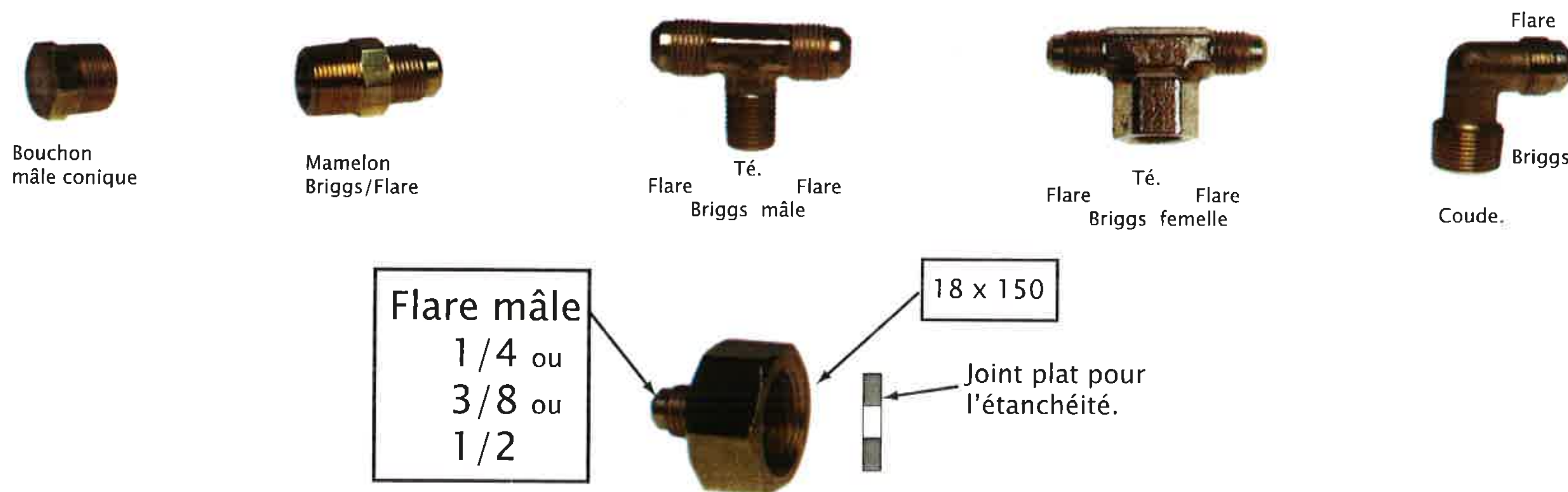

Té. Mâle/femelle/mâle.

Documents ITE.

Raccords à visser mixtes "flare" et Briggs*.

Le filetage de type Briggs est principalement utilisé sur des parties métalliques telles que culasse, couvercle de déshydrateur, carter de compresseur, etc. Des raccords mixtes sont proposés pour assurer la convertion de Briggs en flare. Pour les bouteilles de fluide frigorigène, le raccord de charge a la particularité d'être en métrique pour la partie femelle 18/150 et flare pour la partie mâle1/4, 3/8 ou 1/2.
Un joint plat en aluminium ou en cuivre assure l'étanchéité de la partie femelle.

L'étanchéité du filetage Briggs est obtenue avec de la pâte spéciale ou du ruban en téflon.



Raccord pour les bouteilles de fluide frigorigène (HCFC, HFC).

DÉSIGNATION DES RACCORDS.

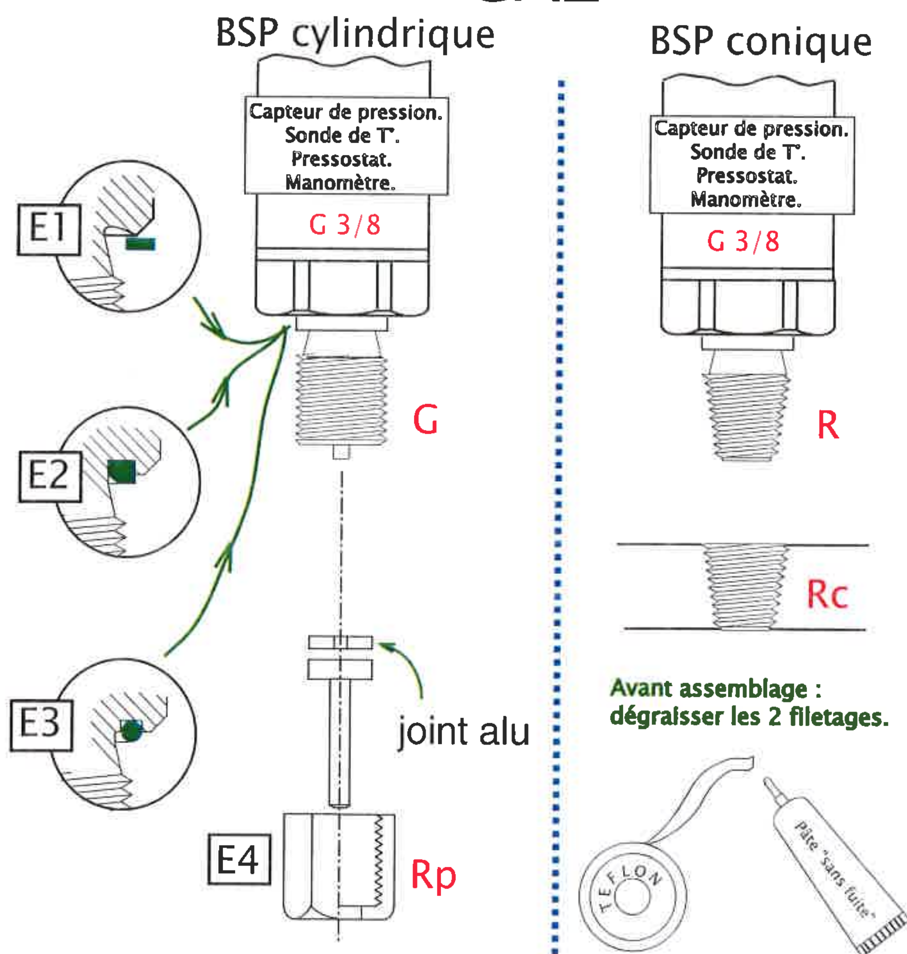
1- Désigner le type de raccord (écrou, té, coude, etc.)
2- Désigner le diamètre nominal en suivant l'ordre prescrit par le fabicant (voir plan).
3- Désigner la nature du filetage : mâle M ou femelle F,
4- Désigner le type de filetage : flare ou Briggs



* Les filetages flare et Briggs sont présentés sur le tableau de la page 282.

Raccordements des composants frigorifiques.

GAZ

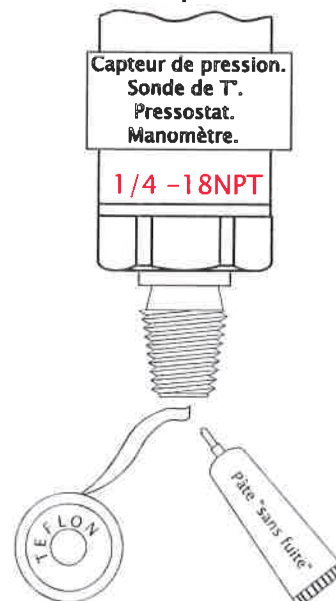


BSP : standard anglais
G : gas
3/8 : dimension du tube

E1, E2, E3 et E4 : types d'étanchéité.

BRIGGS

conique



Avant assemblage :
dégraisser les 2 filetages.

NPT : standard américain
1/4 : dimension tube
18 : filets au pouce

MPT :
Male Pipe Thread

FPT :
Female Pipe Thread

SAE/flare

cylindrique



intercalaire
cuivre ou aluminium.

1/4 : dimension tube
in. : inch ou pouce
flare : évasement ou dudgeon
7/16 : diamètre ext. du raccord
20 : filets au pouce
UNF : pas fin

Récapitulatif des filetages utilisés en mécanique et dans les assemblages de composants frigorifiques.

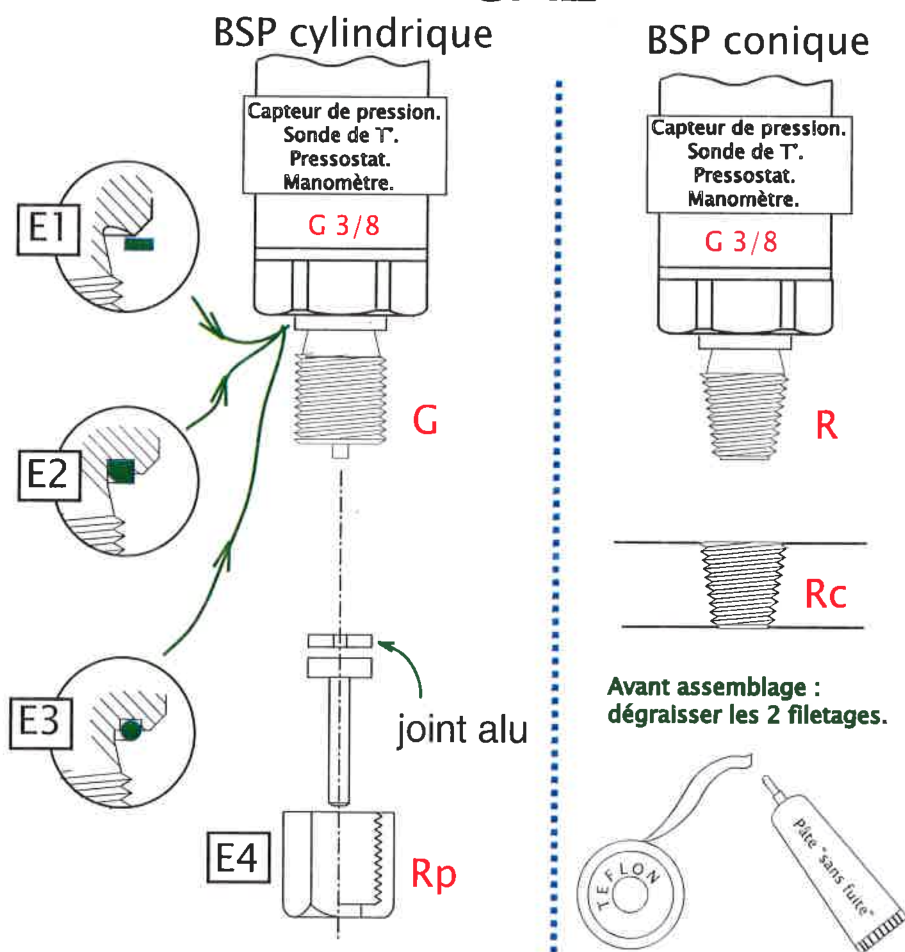
Symbole	Repérage du filet	Profil des filets	Forme	Symbole	Repérage du filetage	Profil des filets	Forme
M	Métrique, identifié par le "pas" en mm.	Triangulaires, angle au sommet 60°. Assemblages pour mécanique courante.	Cylindrique	BSW	Filet anglais, identifié par le nb. de filets au pouce. "WHITHWORTH" Mécanique courante.	Triangulaires angle de 55°. Profil identique au pas "gaz".	Cylindrique
UNC	Filet américain, équivalent de notre pas "gros". Identifié par le nb. de filets au pouce.	Triangulaires 60°. Assemblages mécanique courante.	Cylindrique	BSP G	Filet d'un raccord mâle cylindrique. Identifié par le nb. de filets au pouce.	Triangulaire angle de 55°. "WHITHWORTH"	Cylindrique
UNF	Filet américain, équivalent de notre pas "fin". Identifié par le nb. de filets au pouce.	Triangulaires 60°. Assemblages mécanique courante.	Cylindrique	BSP Rp	Filet dans raccord femelle cylindrique. Identifié par le nb. de filets au pouce.	Triangulaire angle de 55°. "WHITHWORTH"	Cylindrique
NPT	Filet américain ANSI. **MPT** filet conique "Briggs" mâle. **FPT** filet conique "Briggs" femelle.	Triangulaires 60°. Raccords de l'industrie frigorifique ou pétrolière. Cône 6,25 %.	Conique	BSP R	Filet d'un raccord mâle conique. Identifié par le nb. de filets au pouce.	Triangulaire angle de 55°. "WHITHWORTH" Cône 6,25 %.	Conique
SAE ou FLARE	Filet américain **S**ociety **A**utomotive **E**ngineers	Triangulaires 60°. Très utilisés dans l'industrie Frigorifique.	Cylindrique	BSP Rc	Filet dans raccord femelle conique. Identifié par le nb. de filets au pouce.	Triangulaire angle de 55°. "WHITHWORTH" Cône 6,25 %.	Conique

Raccordements des composants frigorifiques.

GAZ

BSP cylindrique

BSP conique



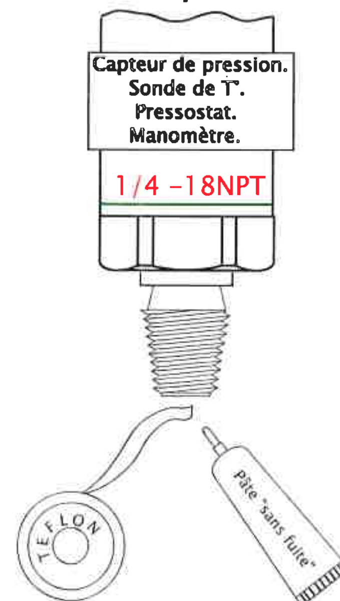
Avant assemblage : dégraisser les 2 filetages.

BSP : standard anglais
G : gas
3/8 : dimension du tube

E1, E2, E3 et E4 : types d'étanchéité.

BRIGGS

conique



Avant assemblage : dégraisser les 2 filetages.

NPT : standard américain
1/4 : dimension tube
18 : filets au pouce

MPT : Male Pipe Thread

FPT : Female Pipe Thread

SAE/flare

cylindrique



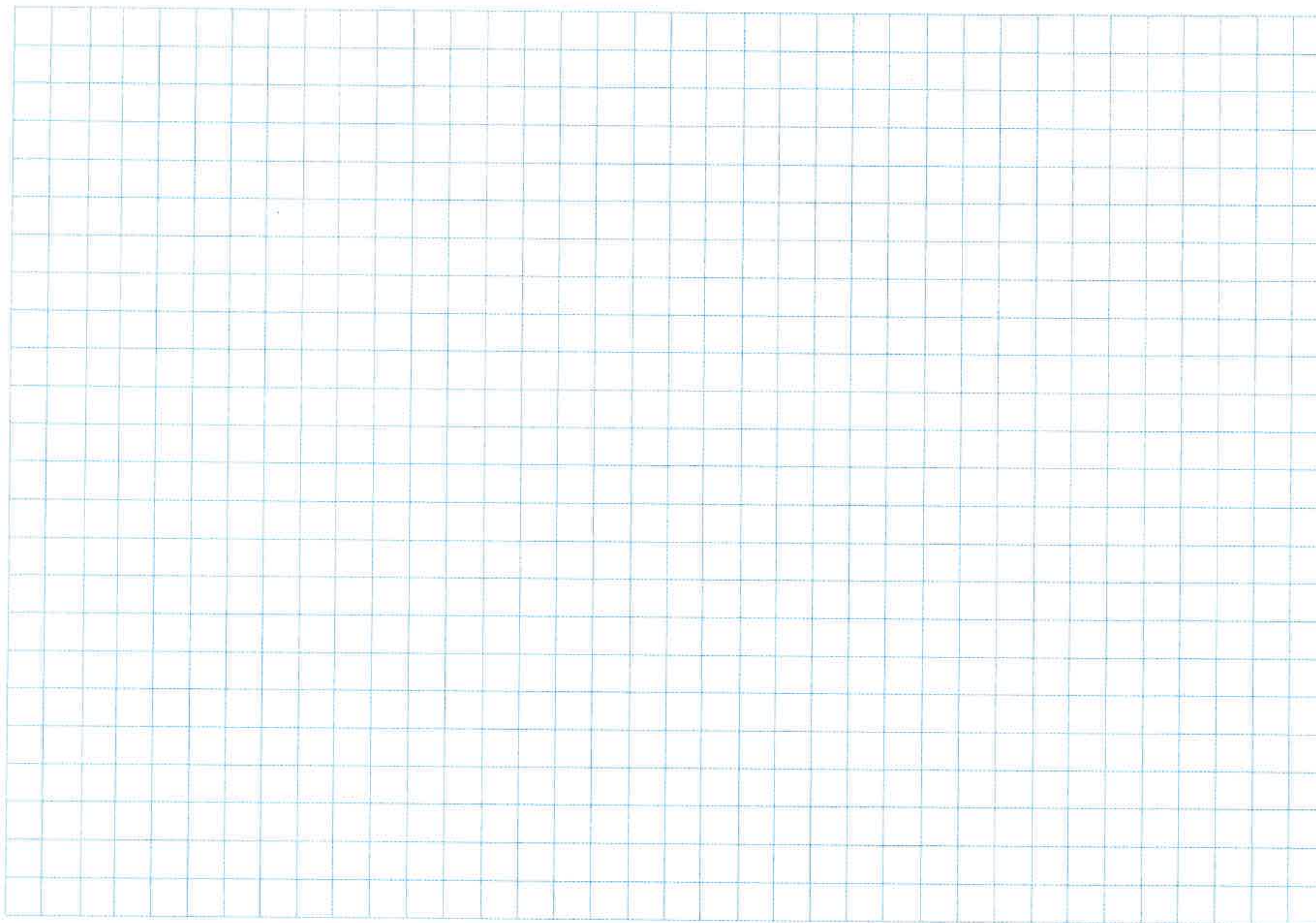
intercalaire cuivre ou aluminium.

1/4 : dimension tube
in. : inch ou pouce
flare : évasement ou dudgeon
7/16 : diamètre ext. du raccord
20 : filets au pouce
UNF : pas fin

Caractéristiques des filetages utilisés dans l'industrie frigorifique

Pour un tube de :		1/16	1/8	3/16	1/4	5/16	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	1"	1"1/4	1"1/2	2"
BRIGGS NPT conique	Désignation. en pouce	1/16	1/8		1/4		3/8	1/2		3/4		1"	1"1/4	1"1/2	2"
	Ø extér. mm	7,93	10,28		13,71		17,14	21,33		26,67		33,4	42,16	48,26	60,32
	Pas en mm	0,94	0,94		1,41		1,41	1,81		1,81		2,21	2,21	2,21	2,21
	Nb de filets au pouce	27	27		18		18	14		14		11 1/2	11 1/2	11 1/2	11 1/2
SAE FLARE cylindrique	Désignation . en pouce			3/8	7/16	1/2	5/8	3/4	7/8	1" 1/16					
	Ø extér. mm			9,5	11,1	12,7	15,8	19	22,2	26,9					
	Pas en mm			1,58	1,27	1,27	1,41	1,58	1,81	1,81					
	Nb de filets au pouce			24	20	20	18	16	14	14					
GAZ BSPC conique	Désignation en pouce		1/8		1/4		3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	1"	1.1/4	1"1/2	2"
	Ø extér. mm		9,72		13,15		16,66	20,95	22,91	26,44	30,2	33,24	41,91	47,8	59,61
	Pas en mm		0,90		1,33		1,33	1,81	1,81	1,81	1,81	2,30	2,30	2,30	2,30
	Nb de filets au pouce		28		19		19	14	14	14	14	11	11	11	11
Appellation commune aux 2 filetages			*5/10*		*8/13*		*12/17*	*15/21*	*17/23*	*20/27*	*24/31*	*26/34*	*33/42*	*40/49*	*50/60*
GAZ BSP cylindrique	Désignation . en pouce		1/8		1/4		3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	1"	1 1/4	1"1/2	2"
	Ø extér. mm		9,73		13,15		16,66	20,95	22,91	26,44	30,2	33,25	41,91	47,8	59,61
	Pas en mm		0,90		1,33		1,33	1,81	1,81	1,81	1,81	2,30	2,30	2,30	2,30
	Nb de filets au pouce		28		19		19	14	14	14	14	11	11	11	11

Notes personnelles.



Les tubes.

Tubes cuivre aux dimensions métriques.

Tubes pour circuits d'eau chaude ou froide sanitaire, évacuation des eaux usées, distribution du gaz (sauf gaz acétylène).

Ref.	6x4	8x6	10x8	12x10	14x12	16x14	18x16	20x18	22x20	28x26	32x30	40x38	42x40
∅ ext.	6	8	10	12	14	16	18	20	22	28	32	40	42
Ep.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

En France, traditionnellement nous utilisons du matériel au standard américain. Des pays du nord de l'Europe ont opté pour les dimensions métriques. Ce système s'impose à toute la production soit les raccords, les déshydrateurs, les vannes, les raccords cuivre, etc.

Les tubes sont donc disponibles en cotes métriques.

Tubes qualité frigorifique, déshydratés, obstrués.

Appellation	∅ extérieur en mm	Epaisseur paroi en mm	Recuit commercialisé en couronne	Ecrouit commercialisé en barre
6 x 4,4	6	0,8	X	
8 x 6,4	8	0,8	X	X
10 x 8,4	10	0,8	X	X
12 x 10	12	1	X	X
15 x 13	15	1	X	X
16 x 14	16	1	X	X
18 x 16	18	1	X	X
22 x 20	22	1	X	X
28 x 25	28	1,5		X
35 x 32	35	1,5		X

Tubes capillaires, qualité frigorifique, déshydratés, obstrués.

∅ ext.	2,4	3,0	2,4	3,0	2,4	3,0	3,0	4,0	4,0	4,0	5,0
∅ int.	0,6	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0	2,0	2,5	3,0	3,0

, etc.

Tubes en cuivre, qualité frigorifique, déshydratés, obstrués. Unités anglo-américaines.

Tubes capillaires en cuivre..				
∅ intérieur en 10ᵉᵐ de mm	∅ extérieur en mm.	∅ intérieur en mm.	Appellation	Recuit commercialisé en couronne.
6/10	2,4	0,6	2,4x0,6	X
8/10	2,4	0,8	2,4x0,8	X
10/10	3	1	3x1	X
12/10	2,4	1,2	2,4x1,2	X
15/10	3	1,5	3x1,5	X
20/10	4	2	4x2	x

∅ extérieur en pouce	∅ extérieur en mm	∅ intérieur en mm	Recuit commercialisé en couronne	Ecrouit commercialisé en barre
3/16	4,76	3,16	x	
1/4	6,35	4,75	X	X
3/8	9,53	7,93	X	X
1/2	12,70	10,70	X	X
5/8	15,87	13,87	X	X
3/4	19,05	17,05	X	X
7/8	22,22	20,22		X
1"	25,04	23,04		X
1" 1/8	28,57	26,57		X
1" 3/8	34,92	32,44		X
1" 5/8	41,27	38,79		X
2" 1/8	53,97	50,67		X
2" 5/8	66,67	62,47		X
3" 1/8	79,37	74,37		X
3" 5/8	92,07	87,07		X
4" 1/8	104,80	99,80		X

Les t

Le bu

techn

Le rés

L'étuc

Le *su*

Les o

Lorsq

Les n

* la

Trois

Les tubes en acier.

Le but du chapitre est d'expliciter les renseignements figurant sur les plans, les schémas ou les documents techniques.

Le réseau de tuyauteries d'un circuit frigorifique assure le transfert de l'énergie.
L'étude du réseau est tout aussi importante que la sélection des échangeurs ou des régulateurs.
Le *sur* ou *sous* -dimensionnement des tuyauteries peut perturber le fonctionnement de l'installation.

Les objectifs de l'étude du réseau tentent donc à :

- limiter les pertes de charge (rendement de l'installation),
- favoriser le retour d'huile,
- éviter les contraintes mécaniques (coup de bélier).

Lorsque le choix du diamètre intérieur est fait, d'autres caractéristiques restent à préciser :

- le diamètre nominal de la tuyauterie (DN),
- l'épaisseur de la tuyauterie qui détermine la pression nominale (PN),
- la matière.

Les normes européennes ou américaines orientent le choix final car elles définissent :

- la composition chimique* (carbone, manganèse, phosphore, soufre, silicium, etc.),
- les caractéristiques mécaniques qui dépendent en grande partie de la composition chimique (résistance, limite élastique, etc.),
- les dimensions ainsi que les tolérances dimensionnelles.

* la composition chimique détermine la gamme de température à laquelle le tube peut être utilisé.

Trois matériaux sont largement utilisés pour la confection des tubes de nos réseaux :

- le cuivre, *incompatible avec l'ammoniac!*
- les aciers au carbone dits "noirs" dans le langage courant,
- les aciers inoxydables.

Les tubes acier aux normes européennes.

Les nuances des aciers au carbone sont définies dans la norme européenne EN 10216 (voir tableau page XX).

Pour des applications frigorifiques, les tubes sont livrés décalaminés, décapés intérieurement et bouchonnés.

Important :

la mise en place d'un tube sur un circuit doit se faire uniquement si l'on maîtrise ses caractéristiques.

Tubes au carbone ou "noirs"				Tubes inox NF A49-147 304L / Z2CN1810 316L / Z3CND1712			
P 265 GH (-15°C) P 265 NL (-40°C)				Tubes sans soudure		Tubes soudés	
D ext. mm	Epaisseur mm	DN Pouces	DN Métrique	D ext. mm	Epaisseurs mm suivant schedule	D ext.	Epaisseurs mm suivant schedule
13,5	2,3	¼"	8				
17,2	2,3	3/8"	10	17,2	1,65/2,31/3,20	17,2	1,65/2,31
21,3	2,6	½"	15	21,34	2,11/2,77/3,73	21,34	1,65/2,11/2,77
26,9	2,3	¾"	20	26,9	2,11/2,87/3,91	26,9	1,65/2,11/2,87
33,7	2,3	1"	25	33,4	2,77/3,38/4,55	33,4	1,65/2,77/3,38
42,4	2,6	1"1/4	32	42,16	2,77/3,56/4,85	42,16	1,65/2,77/3,56
48,3	2,6	1"1/2	40	48,26	2,77/3,68/5,08	48,26	1,65/2,77/3,68
60,3	2,9	2"	50	60,33	2,77/3,91/5,54	60,3	1,65/2,77/3,91
76,1	2,9	2"1/2	65	73,03	3,05/5,16/7,01	73,03	2,11/3,05/5,16
88,9	3,2	3"	80	88,9	3,05/5,49	88,9	2,11/3,05/5,49
114,3	3,6	4"	100	114,3	3,05/6,02/8,56	114,3	2,11/3,05/6,02
139,7	4	5"	125	141,3	3,40/6,55/9,53	141,3	2,77/3,4/6,55
168,3	4,5	6"	150	168,3	3,40/7,11/10,97	168,3	2,77/3,4/7,11
219,1	6,3	8"	200	219,1	3,76/8,18/12,70	219,1	2,77/3,76/6,35 8,18/12,70

: XX).

Les normes européennes.

La mise en place des normes européennes dans le marché commun unifié doit permettre une liberté de commerce à l'intérieur de contraintes techniques communes.

L'harmonisation des exigences apporte une réduction du nombre de normes en vigueur en Europe et une définition plus claire des produits.

Les normes européennes EN qui sont applicables dans tous les pays européens deviennent des ***références techniques uniques***

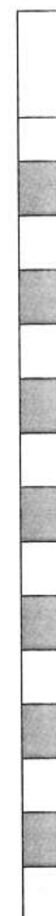
Correspondance des normes AFNOR et des normes européennes.				
Appellations suivant les normes AFNOR.	TU E220/ TUE250/ TUE275	TU37B TU42B	TU37C TU42C TU48C	TU 42BT
Normes	NF A 49211	NF A 49212	NF A 49213	NF A49 230
Nouvelles appellations dans l'EURONORME	P195GH P235GH P265GH	P195GH P235GH P265GH	P195GH P235GH P265GH	P 265NL P 215 NI
Normes	EN 10216 2	EN 10216 1	EN 10216 2	EN 10216 -4
Définitions	*Tubes sans soudure en acier pour service sous pression avec caractéristiques spécifiées à température élevée.*			*Tubes sans soudure en acier pour service sous pression avec caractéristiques spécifiées à basse température.*

Equivalences des normes américaines et des normes européennes

Types d'aciers	Normes américaines	Normes européennes
Acier au carbone non allié	ASTM A106grB / API 5L grB	EN 10216-2 / P265GH
	ASTM A672 C60 cl12	EN 10217-1 / P265GH
	API 5L grB soudé	EN 10208-2 EN 10217 -2
Acier au carbone BT résilient	ASTM A333 gr6	EN 10216-4 / P255QL
Acier Inox 18-10	A312 TP304	TU Z6CN18-09
Acier Inox 17-12-2	A312 TP 316	TU Z6 CND 17-11

Tubes acier aux normes américaines.

Organismes	Dénomination et/ou objet de la norme.	Dimensions	Exemples .
ASTM American Society for Testing and Materials	A106. Grade B (B :repère de la nuance d'acier) Tubes en acier sans soudure pour utilisation en haute température. A 333. Grade 1 ou 6 (1 ou 6 nuances d'acier). Tubes en acier sans soudure et soudés pour une utilisation en basse température.	Diamètre ext. en pouce. Epaisseur/schedule.	Tube ASTM A333 Grade 6 2" 80
API American Petroleum Institute	5L : tubes en acier soudés et sans soudure. 5LX : Tubes à haute résistance sans soudure. 5LS : tubes soudés en spirale.	Epaisseur/schedule. Diamètre ext. en pouce.	Tube API-5L XS 2"
ANSI American National Standards Institute	Les tubes de cette norme se désignent par : le diamètre extérieur en pouce, le schedule (abréviation Sch). Le Sch est un numéro qui définit une épaisseur pour un diamètre donné et pour une utilisation déterminée.	Diamètre ext. en pouce. Epaisseur suivant Schedule.	Tube 2"Sch 40



Les tubes acier aux normes américaines.

En Amérique du nord, trois organismes ASTM, API et ANSI définissent des normes pour quantifier les nuances des aciers au carbone. L'Europe produit et commercialise des aciers répondant à ces normes.

Pour les applications frigorifiques, les tubes sont livrés décalaminés, décapés intérieurement et bouchonnés.

Important :

la mise en place d'un tube sur un circuit doit se faire uniquement si l'on maîtrise ses caractéristiques.

API 5L std ANSI Schedule 40		Diamètre extérieur en pouce	ASTM A 333 Grade 6 (-40°C)	
D ext. mm	Ep. mm		D ext. mm	Ep. mm
13,7	2,24	¼"	13,7	2,2
17,1	2,31	3/8"	17,1	3,03
21,3	2,77	½"	21,34	2,76
26,7	2,87	¾"	26,7	2,87
33,4	3,38	1"	33,4	3,37
42,2	3,56	1"1/4	42,2	3,55
48,3	3,68	1"1/2	48,3	3,68
60,3	3,91	2"	60,3	3,91
73	5,16	2"1/2	73	5,16
88,9	5,49	3"	88,9	5,49
114,3	6,02	4"	114,3	6,02
141,3	6,55	5"	141,3	6,55
168,3	7,11	6"	168,3	4,78
219,1	8,18	8"	219,1	6,35

Couleurs conventionnelles des tuyauteries rigides (NF X 08-100).


fig. 1



fig. 2



fig. 3



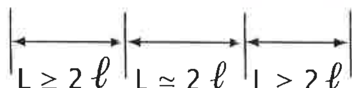
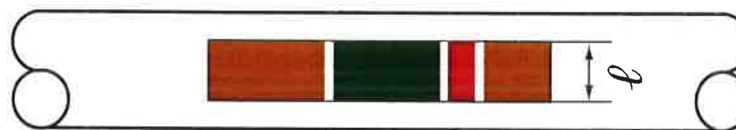


fig. 4



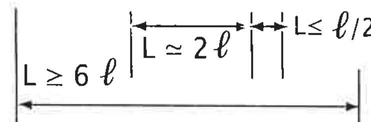
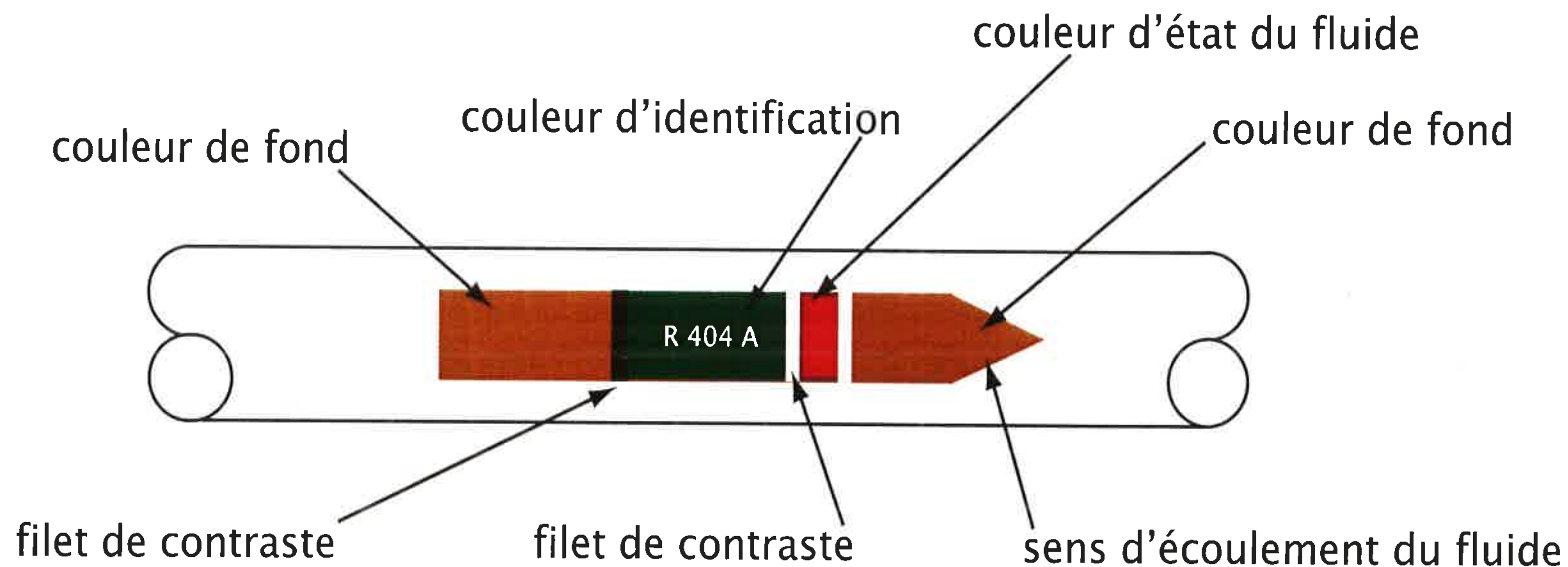


fig. 5

Dimensions des rectangles d'identification



Couleurs conventionnelles des tuyauteries rigides (NF X 08-100).

La norme NF X 08-100 permet d'identifier les tuyauteries rigides.

Pour définir les caractéristiques d'un fluide en circulation, 3 couleurs et des informations complémentaires sont nécessaires :

- une couleur de fond qui caractérise la famille du fluide (eau, huile, vapeur d'eau, etc.),
- une couleur d'identification (ammoniac, CO_2, eau, etc.),
- une couleur d'état du fluide (liquide, gaz, etc.),
- des informations complémentaires comme le sens de circulation ou l'appellation en clair du fluide transporté.

Les couleurs font partie d'un nuancier dénommé "catalogue des couleurs NF X 08-002". Chaque couleur est définie par une teinte suivie d'une référence. Exemple : bleu-violet vif A550. L'AFNOR ne fournit pas d'équivalence en teinte RAL ou PANTONE. Les préparateurs de peinture disposent de moyens pour obtenir ces teintes.

Les couleurs retenues sont celles utilisées dans notre profession.

Les 3 procédés pour appliquer la couleur de fond dépendent du diamètre de la tuyauterie :

- sur la totalité de la tuyauterie fig. 1,
- sur un tronçon dont la longueur est fonction du diamètre fig.2,
- sur une bande adhésive dont les dimensions sont définies figure 3.

Les couleurs d'identification ainsi que l'état du fluide sont des bandes ou des anneaux colorés qui complètent l'information, fig.4 et 5.

Pour éviter toute méprise, le nom du fluide peut être porté en clair sur la teinte d'identification. Ex:eau glycolée, ammoniac

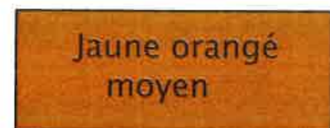
Pour marquer le contraste entre 2 couleurs, il est recommandé d'adjoindre un filet de contraste noir ou blanc.
Le sens d'écoulement du fluide est indiqué:

- soit en dessinant une flèche sur la tuyauterie,
- soit en donnant la forme de flèche au support des couleurs.

Couleurs conventionnelles . Catalogue NF X 08-002.

Teintes de fond





A 340



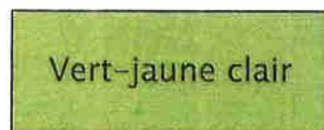
A 466



A 020

Couleurs d'identification





A 480



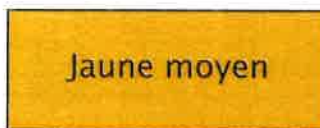
A 607



A 466



A 603



A 305

Etat des fluides





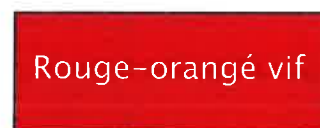
A 150



A 710



A 571



A 801

Mise en garde : ces pages ne sont pas un nuancier. Elles ne doivent donc pas être utilisées pour sélectionner une teinte.

L'AFNOR ne fournit pas d'équivalence en teinte RAL ou PANTONE. Par contre, les références A466, A340, etc. sont répertoriées chez les préparateurs de peinture sous le vocable : "teinte AFNOR" ou "coloris AFNOR".

Couleurs conventionnelles. NF X 08-100.

Teintes de fond





GAZ
Dans notre cas :
fluides frigorigènes.



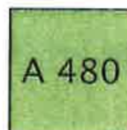
EAU
(sauf lutte incendie)



Huiles minérales,
végétales et animales
combustibles

Couleurs d'identification





Ammoniac



Dioxyde de carbone
(R744)



Hydrocarbures
chlorofluorés



Eau non potable.
Eau de mer.
Saumures et fluides frigo
et caloporteurs.



Lubrifiants.

Etat des fluides





Chaud ou
surchauffé.
(Gaz HP)



Froid ou
refroidi.
(Liquide BP)

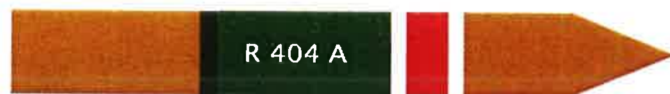


Gaz froid.
(Gaz BP)

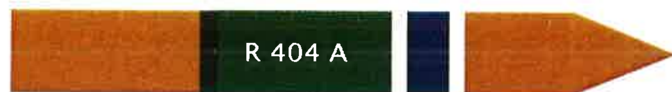


Liquide sous
pression.
(Liquide HP)

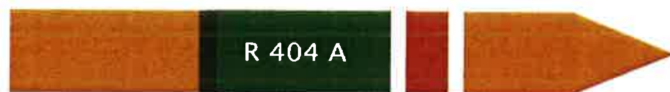
Exemples d'identification de tuyauteries



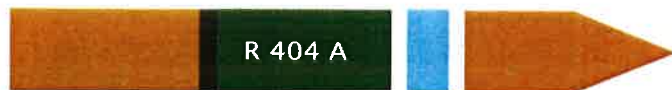
Liquide HP



Liquide BP

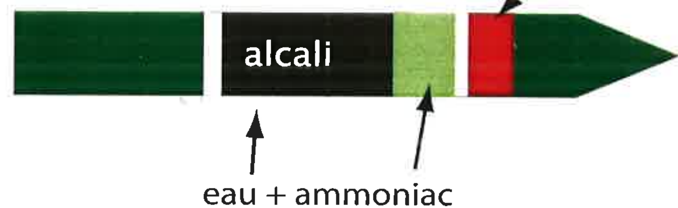


Gaz HP



Gaz BP



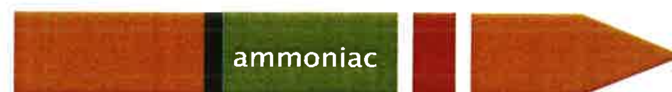




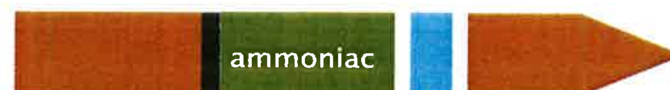
Liquide HP



Liquide BP



Gaz HP



Gaz BP



Circuit d'une tour de refroidissement



Circuit de refroidissement de l'huile d'un compresseur à vis

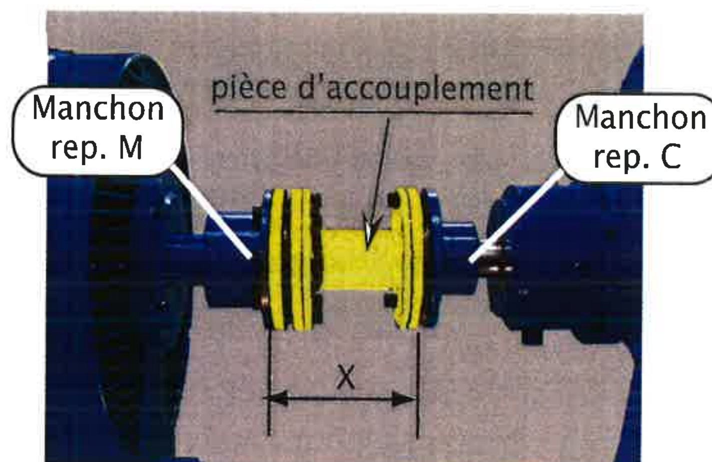
La mécanique.

/is

Alignement d'arbre, mise en ligne ou lignage.

La transmission est assurée par 3 pièces :

- ⇨ un manchon solidaire du moteur repère M,
- ⇨ un manchon solidaire du compresseur repère C,
- ⇨ une pièce d'accouplement qui assure la liaison entre les 2 manchons.



Un désalignement des arbres se traduit par une diminution de la durée de vie des roulements, des paliers et de la garniture d'étanchéité.

La pièce d'accouplement est prévue pour compenser des défauts d'alignement. Mais en fonction de la puissance, de la vitesse et du type de compresseur, les constructeurs imposent des tolérances réduites.

Exemple :

Les tolérances sont contrôlées à l'aide :

Désalignement angulaire : 0,05 mm (5/100)
Désalignement latéral : 0,05 mm (5/100) → d'un comparateur.

Écartement des manchons, cote X : ± 0,1 mm (1/10) → d'un pied à coulisse.

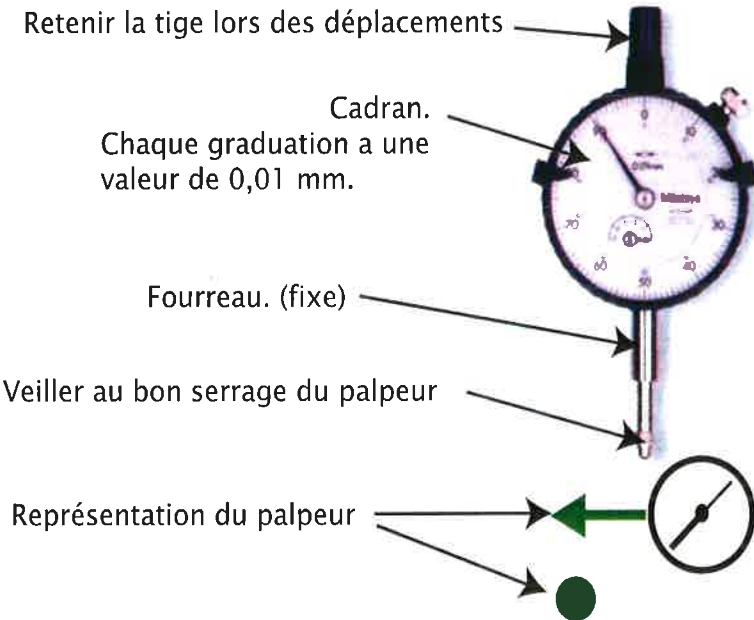
Avant la mise en ligne :

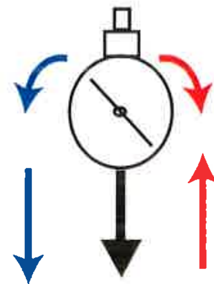
- ◊ vérifier que le compresseur est bien serré sur son chassis,
- ◊ vérifier que les tuyauteries d'aspiration et de refoulement sont correctement supportées,
- ◊ se renseigner des tolérances préconisées par le constructeur,
- ◊ consigner le moteur électrique,
- ◊ démonter la protection d'accouplement,
- ◊ déposer l'accouplement.

Alignement d'arbre, mise en ligne ou lignage.

L'instrument de mesure qui permet de vérifier des variations de cotes de l'ordre du centième de mm est le comparateur.
Un comparateur est indispensable, mais idéalement la mise en place de 2 comparateurs est souhaitable car ils évitent le démontage entre 2 phases de contrôle.
Ils sont montés sur des châssis métalliques réglables ou sur des supports aimantés.

Ce sont des instruments fragiles.

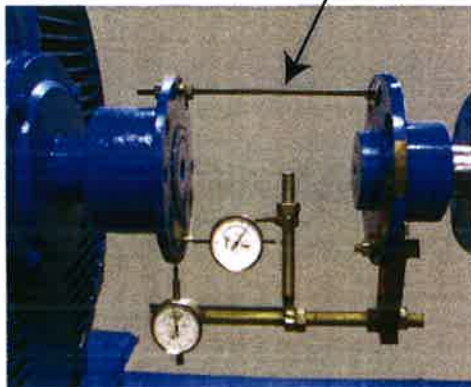


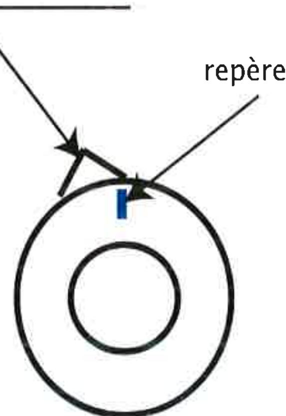


Déplacement de l'aiguille

Le repositionnement du moteur est obtenu par des dispositifs placés sous les pieds du moteur:
- ◊ patins réglables,
- ◊ systèmes vis/écrou,
- ◊ mise en place de clinquant.

Tige de synchronisme ou cornière





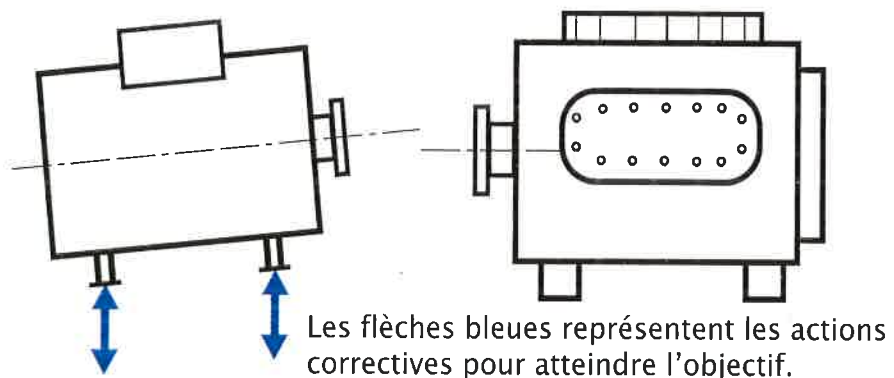
Les manchons doivent tourner en même temps pendant la vérification du lignage.

La rotation simultanée est contrôlée par une tige de synchronisme ou un contrôle visuel à l'aide d'une cornière.

Dans le deuxième cas, il faut tracer des repères sur la périphérie de chaque manchon, ainsi la cornière permet de vérifier que ceux-ci ont tourné ensemble.

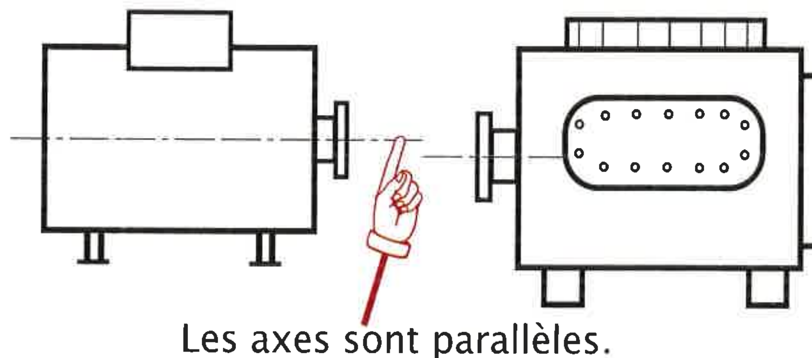
Phase A. Alignement angulaire vertical.

Etat initial :



Les flèches bleues représentent les actions correctives pour atteindre l'objectif.

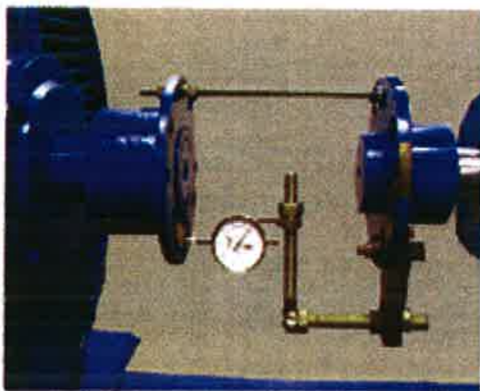
Objectif :

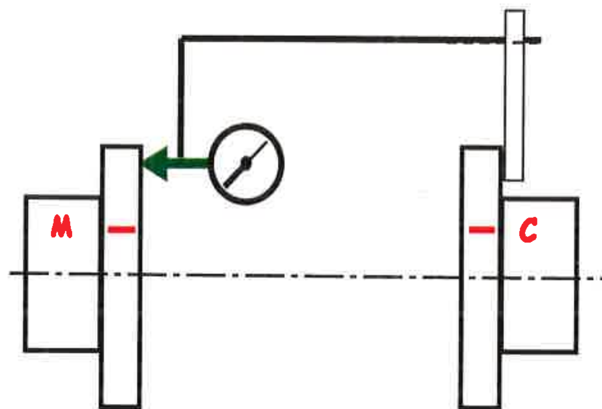


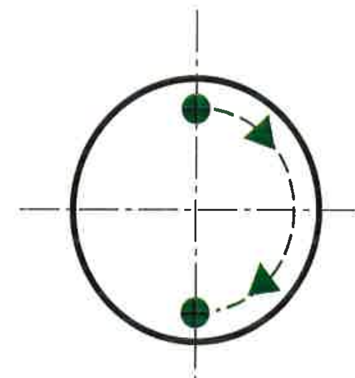
Les axes sont parallèles.

Après chaque action corrective et avant le contrôle, le moteur doit être resserré.

Procédure de contrôle :







Pendant la demi-rotation des manchons, la différence lue au comparateur ne doit pas excéder 0,05 mm.

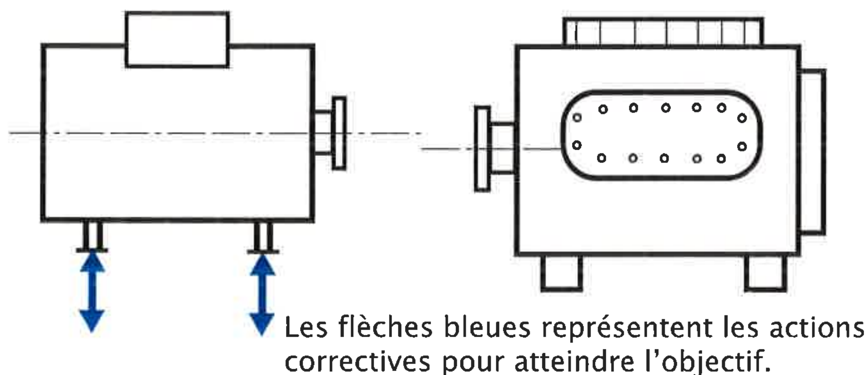
1/2 tour effectué par les manchons.



Pend
ne d

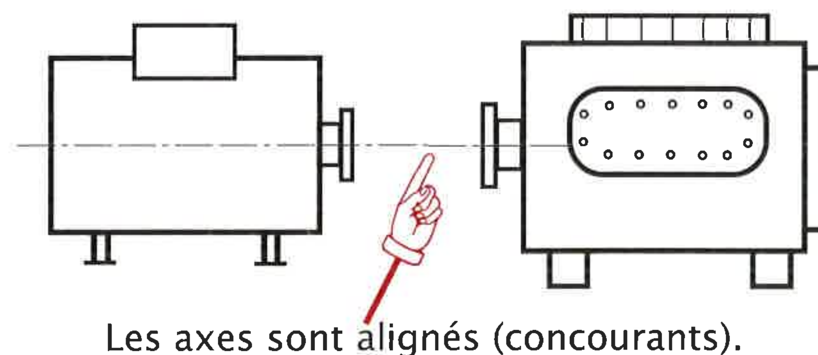
Phase B. Alignement concentrique vertical.

Etat initial :



Les flèches bleues représentent les actions correctives pour atteindre l'objectif.

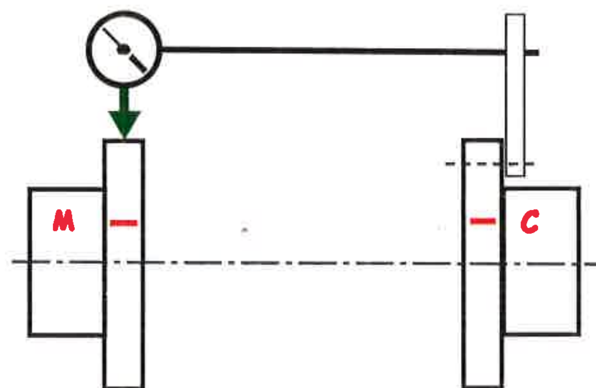
Objectif :

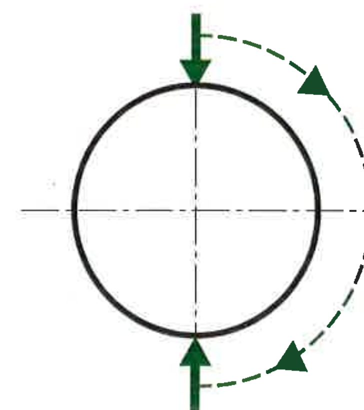


Les axes sont alignés (concourants).

Procédure de contrôle :







Pendant la demi-rotation des manchons, la différence lue au comparateur ne doit pas excéder 0,05 mm.

1/2 tour effectué par les manchons.

Avant de passer à la phase C, vérifier à nouveau les phases A puis B.

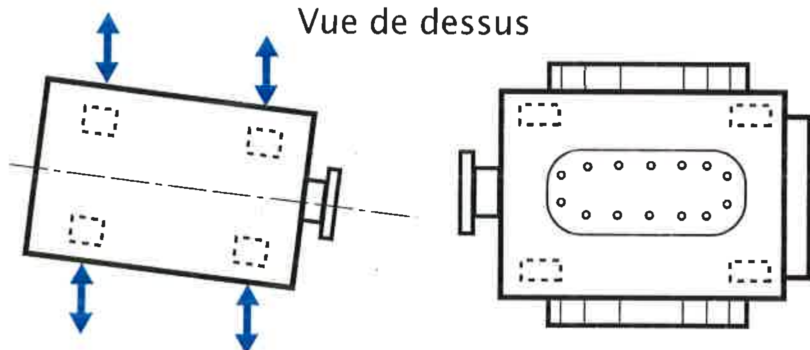
é.

ır

Phase C. Alignement angulaire horizontal.

Etat initial:

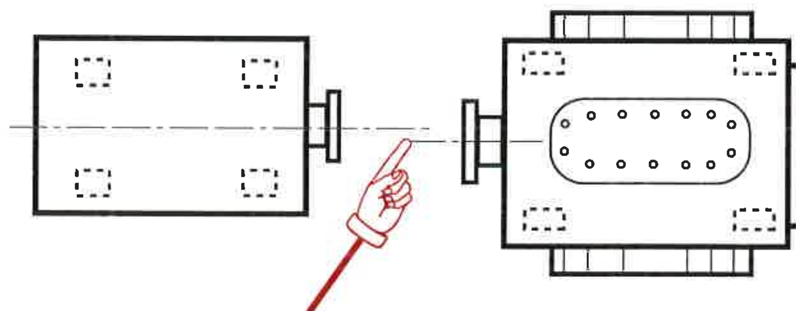
Vue de dessus



Les flèches bleues représentent les actions correctives pour atteindre l'objectif.

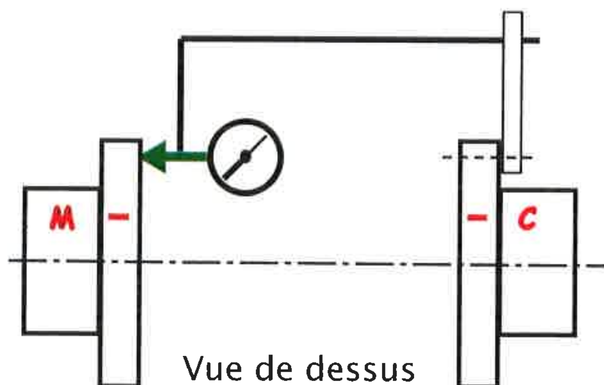
Objectif :

Vue de dessus

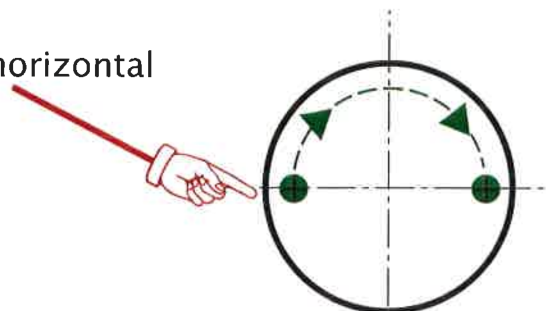


Les axes sont parallèles.

Procédure de contrôle :



Pendant la demi-rotation des manchons, la différence lue au comparateur ne doit pas excéder 0,05 mm.

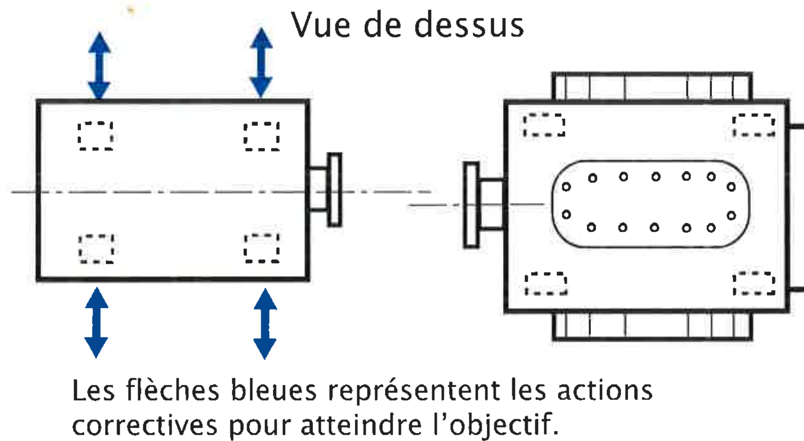


1/2 tour effectué par les manchons.

Avant de passer à la phase D, vérifier à nouveau les phases A, B et C.

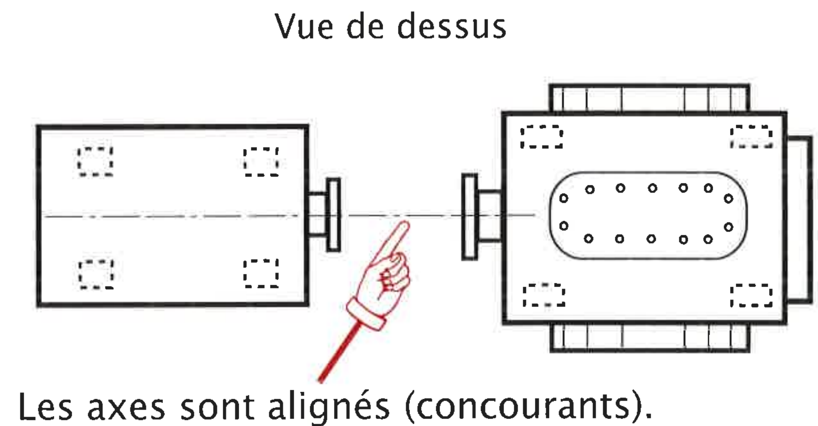
Phase D. Alignement concentrique horizontal.

Etat initial :



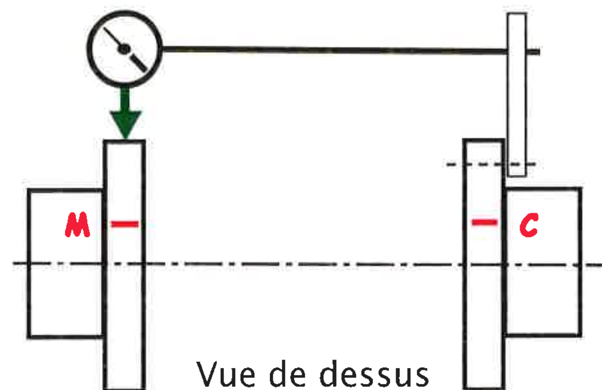
Les flèches bleues représentent les actions correctives pour atteindre l'objectif.

Objectif :

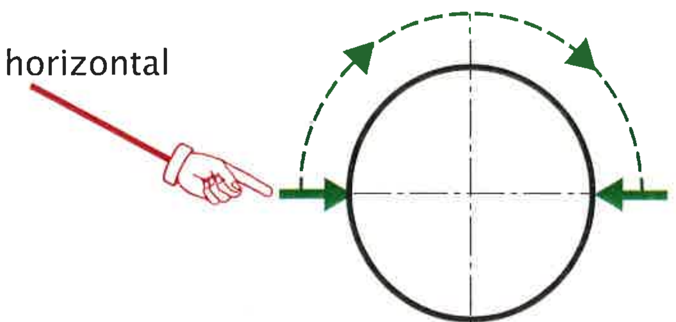


Les axes sont alignés (concourants).

Procédure de contrôle :



Pendant la demi-rotation des manchons, la différence lue au comparateur ne doit pas excéder 0,05 mm.



1/2 tour effectué par les manchons.

Pour conclure, vérifier à nouveau les phases A, B, C et D ainsi que le serrage du moteur.

Fiche de relevés après lignage.	Technicien :

Date : Client :

Type de compresseur : N° Fab. Compteur horaire :

Référence moteur : N° Fab. P : KW Vitesse :

Type accouplement : Température des éléments à ligner :

Lignage radial Nota : cotes reportées suivant la vue du moteur Tolérances admises :

Angulaire [ ]

12

[ ] 9 3 [ ]

6

[ ]

Concentrique [ ]

12

[ ] 9 3 [ ]

6

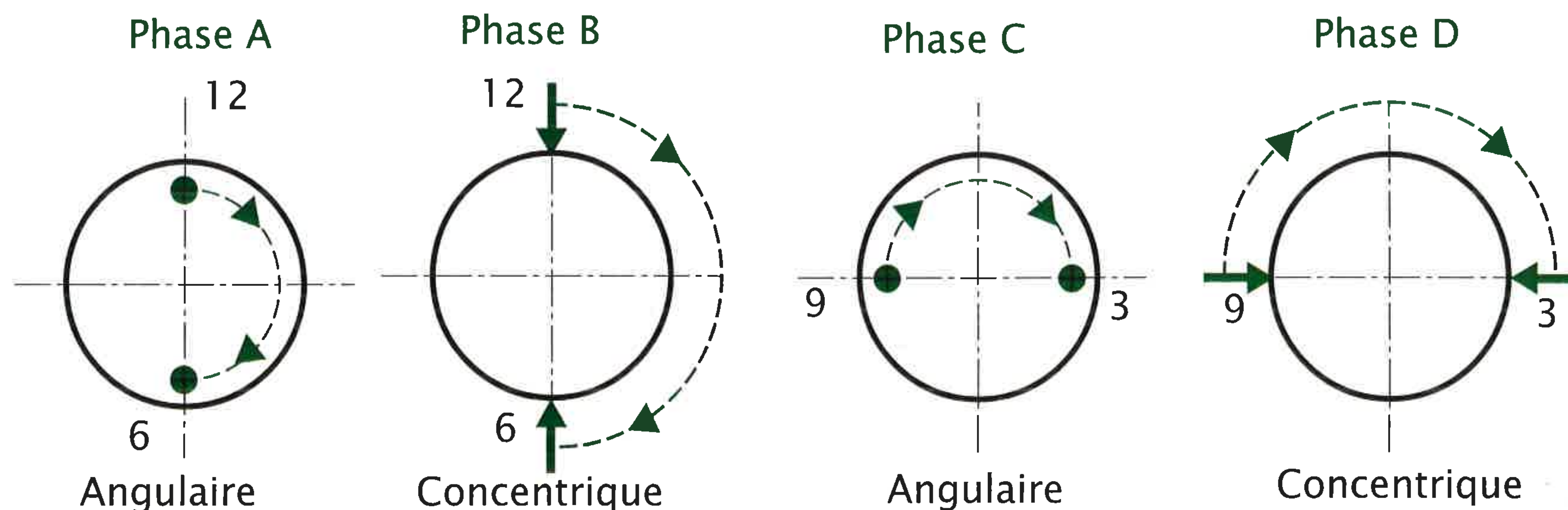
[ ]

Lignage axial

X

Tolérances admises :

Valeurs à reporter sur la fiche de relevés.



Le support de comparateur ne doit pas être flexible.

L'utilisation de la clé dynamométrique permet d'avoir un serrage constant et évite ainsi les déformations de la visserie.

Pour le réglage de la cote "X", on reprend le jeu en tirant le vilebrequin.
Le respect de cette cote limite les contraintes du système d'accouplement.

Prise en compte des effets thermiques.
Pour certains compresseurs à vis, on procède à un délignage à froid.
Le moteur est placé plus haut que le compresseur.
Après la mise en service, le compresseur se dilate et les axes deviennent concourants.
Suivant les compresseurs, la valeur de délignage oscille de 0,4 à 1mm (données constructeur).

La fiche de relevés comporte les dernières valeurs avant la mise en route.

Relevés de vos mises en ligne.

Références de courroies utilisées.

Les courroies trapézoïdales

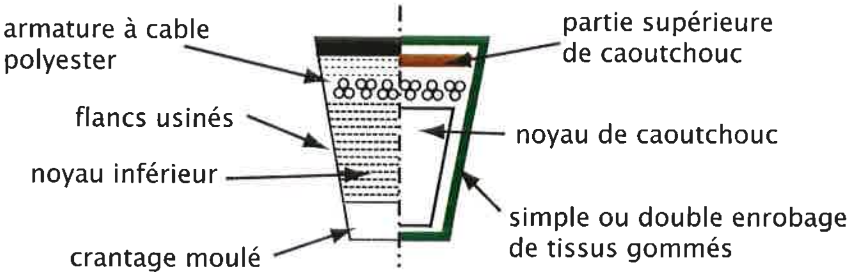
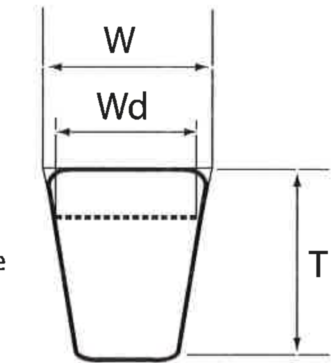
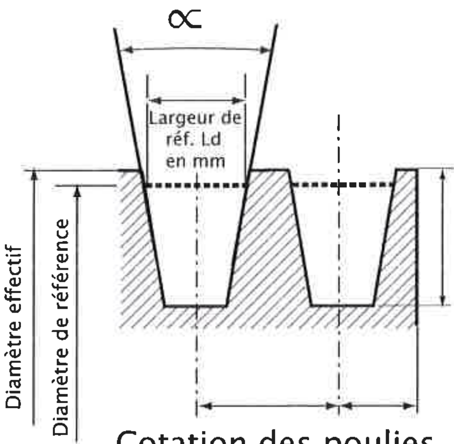


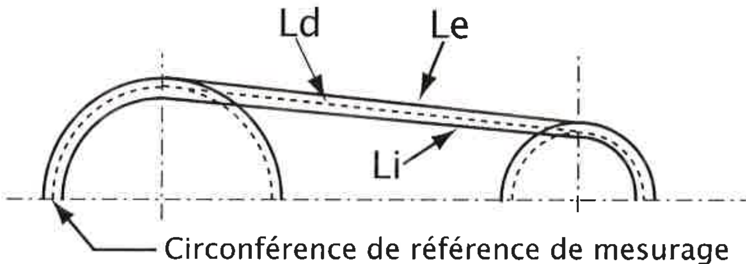
Fig. a Constitution d'une courroie



Profil et dimensions des courroies



Cotation des poulies



Circonférence de référence de mesurage

Ld : longueur de référence (ex. longueur primitive).
Le : longueur extérieure
Li : longueur intérieure

	Types de courroies et dénominations (E 24 213)												
	Sections classiques					Moulées crantées à flancs nus				Crantées sections étroites			
	Z	A	B	C	D	SPZ	SPA	SPB	SPC	XPZ	XPA	XPB	XPC
Sections nominales	10x6	13x8	17x11	22x14	32x19	9,7x8	12,7x10	16,3x13	22x18	10x8	13x10	16,3x13	23x18
	Dimensions												
W	10	13	17	22	32	9,7	12,7	16,3	22	10	13	16,3	23
Wd	8,5	11	14	19	27	8,5	11	14	19	8,5	11	14	19
T	6	8	11	14	19	8	10	13	18	8	10	13	18
Le-Ld (mm)	15*	16*	22*	34*	51*	13*	18*	22*	30*	13*	18*	22*	30*
Ld-Li (mm)	22**	30**	43**	52**	75**	–	–	–	–	–	–	–	–
Longueurs	Indiquées en pouces					Indiquées en mm				Indiquées en mm			

Transmission par courroies trapézoïdales.

L'usage des courroies trapézoïdales est largement répandu dans l'industrie frigorifique, notamment pour l'entrainement des ventilateurs ou des turbines dans les tours de refroidissement, les condenseurs et les productions de glace.

Pour l'entrainement des compresseurs frigorifiques, leur emploi tend à diminuer avec :

- les compresseurs hermétiques ou hermétiques-accessibles,
- les entrainements directs.

La constitution des courroies trapézoïdales dépend en grande partie des efforts à transmettre et des vitesses.
Sur la figure a, on trouve les 2 types de courroies les plus utilisées dans notre profession :

- la coupe gauche représente la série des courroies à flancs nus avec ou sans cran,
- la coupe droite représente la série des courroies dites classiques.

Les sections normées (E 24 213) se trouvent dans le tableau de la page de gauche :

- les sections classiques : Z, A, B, C et D,
- les moulées crantées à flancs nus : SPZ, SPA, SPB et SPC,
- les crantées sections étroites : XPZ, XPA, XPB et XPC.

Les longueurs (NF ISO 4184).
La terminologie utilisée pour les courroies a été modifiée, ainsi le terme "de référence" remplace le terme "primitif".

- Ld : longueur de référence, calculée avec les diamètres de référence. Cette longueur n'est pas mesurable mais elle est calculable avec les données du tableau. Ce qui est mesurable, c'est la longueur extérieure en déroulant la courroie sur sa grande base.

La longueur de référence est indiquée sur la courroie, elle est exprimée en mm ou en pouce :

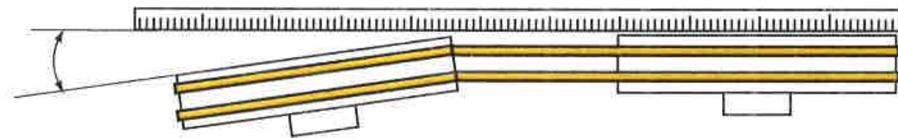
- en millimètres, une courroie SPZ 1650 a une longueur de référence de 1650 mm.
  Sa longueur extérieure est égale à 1250 + 13 = 1263 mm.
- en pouce, une courroie B 100 a une longueur de référence de 25,4 x 100 = 2450 mm (1 pouce = 25,4 mm).
  Sa longueur extérieure est égale à 2540 + 22 = 2562 mm.
  une courroie A57 a une longueur de référence de 25,4 x 57 = 1447,8 mm.
  Sa longueur extérieure est égale à 1447,8 + 16 = 1463,8 mm.

Les poulies (normes ISO 4183, DIN 2211 et DIN 2217).
Les poulies ont une largeur de référence, une hauteur, parfois un entraxe. Pour compléter ces informations, l'angle de la gorge α est précisé, il évolue de 34° à 38° suivant le type de courroie.

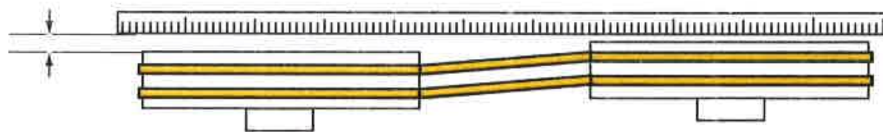
Sur le tableau, les valeurs repérées * ou ** varient selon le constructeur, toutefois elles restent dans la norme.

e).

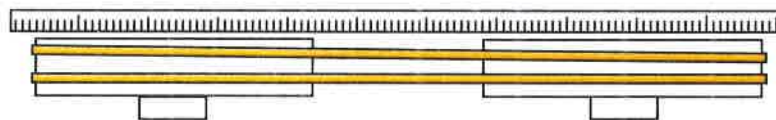
Montage et réglage des courroies



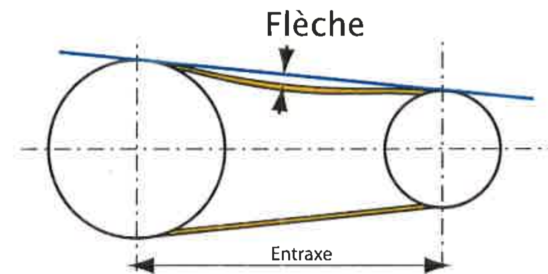
A – Désalignement angulaire

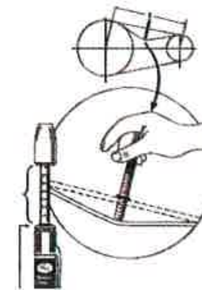


B – Défaut de parallélisme



C – Défauts d'alignement corrigés

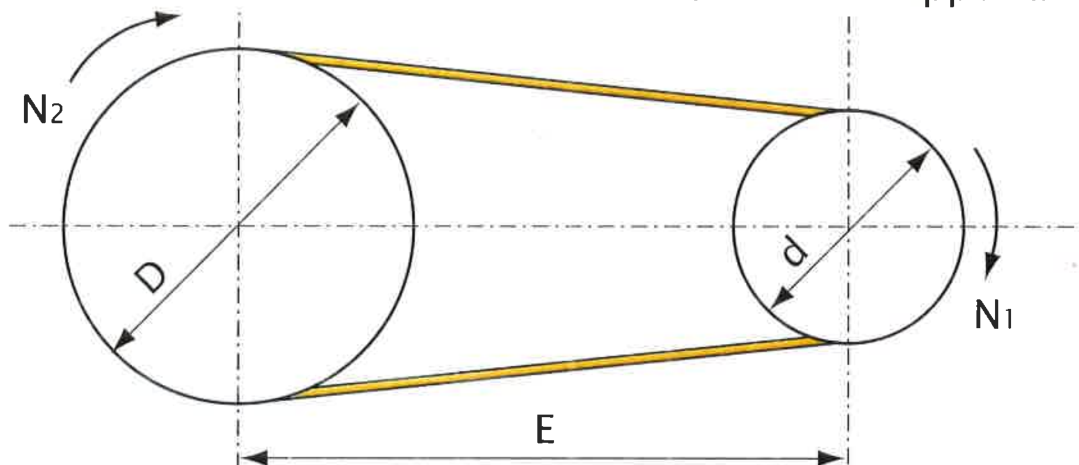




Tensiomètre

Contrôle de tension des courroies

Calculs se rapportant à la transmission.



$$N_1 \times d = N_2 \times D$$

Produit menant = produit mené

Longueur d'une courroie :

$$L = 2E + 1{,}57\,(D+d) + \frac{(D-d)^2}{4E}$$

Montage et réglage des courroies.

La longévité des courroies et des dispositifs qu'elles entrainent dépend en grande partie de leur mise en œuvre.
Au préalable, un contrôle et deux réglages sont indispensables :

- la position des 2 axes sur un même plan, horizontal ou vertical [1],
- l'alignement des poulies [2],
- la tension des courroies [3],

Moyens pour y parvenir :

- [1] le niveau à bulles convient pour ce contrôle, le cas échéant, un calage sous certaines pattes du moteur corrige le défaut.
- [2] l'alignement s'effectue avec une règle métallique rigide ou une cordelette non pelucheuse de type corde en nylon.
  La première phase consiste à placer les 2 poulies sur 2 plans parallèles (A).
  La seconde phase permet de confondre les 2 plans (B). Il est important de vérifier que les poulies ont la même épaisseur.
- [3]la tension peut s'apprécier avec la hauteur de la flèche. Cette déflection est évaluée entre 13 et 23 mm pour 1 m d'entraxe.
  Les constructeurs tiennent à notre disposition des valeurs plus précises.
  Certains proposent également des appareils dénommés "tensiomètres" qui effectuent des lectures directes de la tension des courroies, d'autres tracent des repères sur les courroies. La mesure de la distance entre les repères nous indique le niveau de tension des courroies.

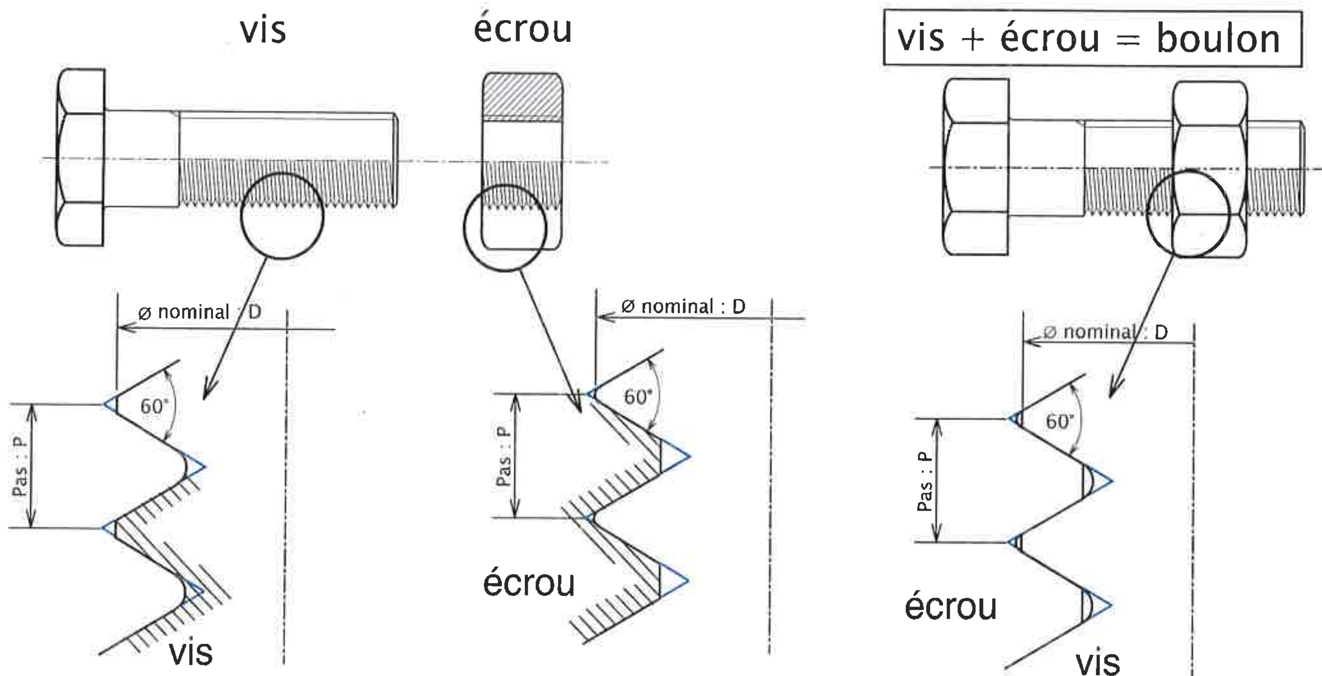
Recommandations de mise en œuvre et de stockage.

Pour la mise en place des courroies, il faut réduire l'entraxe pour éviter une trop grande traction sur l'armature en câbles polyester.
Lors d'opérations de maintenance, l'ensemble des courroies doit être changé, elles seront neuves et proviendront du même fabricant.
Un contrôle de la température de fonctionnement est un bon indicateur des conditions d'installation des courroies. Après l'arrêt et le sectionnement du moteur, un contrôle manuel doit être possible, soit environ 45°C. Dans le cas contraire, une mesure avec un thermomètre est réalisée (T° maxi 80°C).
L'apparition de problèmes dans une transmission est souvent imputée aux courroies, mais 2 autres facteurs interviennent :

- l'état des gorges de la poulie qui s'érodent. Il existe des calibres pour vérifier le profil des gorges.
- la rigidité des châssis. Si elle est insuffisante, elle peut générer des variations d'entraxe.

Quelques règles de stockage des courroies doivent être observées. Choisir un endroit frais et sec, sans éclairage direct. Eviter les fenêtres, les radiateurs et autres sources de chaleur. Les éloigner des transformateurs ou d'appareils électriques susceptibles de produire de l'ozone.
Pour le nettoyage des courroies, exclure les solvants mais privilégier l'eau savonneuse.

Les filetages.



ø nominal : D

55°

filets par 1"(pouce)

vis

écrou

Filet métrique ISO

Filet Whitworth

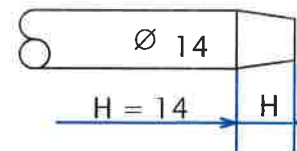


ISO 2.0

Jauge de filets.



Tarauds à main.





chanfrein

Filière.

Les fi

Le fileta

Ses cara

Le dian

La forn

Le pas.

Dans d'

la valeu

Les pas

Tous le

Le sen

Le pas

Réalisa

volonti

Le tara

d'entra

Avan

La filiè

Deux d

Les filetages.

Le filetage est une surface hélicoïdale obtenue par la combinaison d'un mouvement de translation d'un outil et la rotation d'une pièce.

Ses caractéristiques principales sont :

Le diamètre nominal. C'est le diamètre théorique qui est utilisé pour sa désignation ex. M 10. Il se vérifie avec un pied à coulisse.

La forme. Elle est donnée par l'outil (profil triangulaire ISO, triangulaire Whitworth, rond, gaz, carré, etc.).

Le pas. C'est la distance comprise entre 2 sommets consécutifs. Dans le système ISO, il s'exprime en mm.
Dans d'autres systèmes, c'est le nombre de filets par pouce qui est pris en compte (1 pouce = 25,4mm). En un tour, une vis progresse de la valeur de son pas. Pour certains outils comme les tarauds ou les filières, le pas s'exprime en centièmes de mm ex : M12 x 175.
Les pas se vérifient avec des jauges à filets ou "peignes" à filets.

filets par 1"(pouce)

Tous les systèmes ont normalisé les pas normaux dits aussi "pas gros" et les "pas fins". Ces derniers offrent comme avantages :

- un meilleur serrage et blocage,
- un couple de serrage plus élevé,
- une capacité de charge plus élevée,
- une précision des réglages car la progression de la vis ou de l'écrou est plus faible (ex. écrou de lignage des compresseurs).

Le sens. C'est le sens d'enroulement de l'hélice qui détermine un pas à droite ou un pas à gauche.
Le pas "anglais" se différencie par ses caractéristiques dimensionnelles et non par son sens.

h

Réalisation des filetages. En fabrication mécanique, on utilise des tours pour la réalisation des filetages. En maintenance, on utilise plus volontiers des tarauds ou des filières.
Le taraud permet de réaliser des filetages intérieurs. Un jeu de tarauds à main comprend 3 tarauds, repérés par des cercles près du carré d'entrainement. Ils sont à utiliser dans l'ordre : 1, 2 puis 3. L'outil pour l'entrainement des tarauds se nomme : tourne à gauche.

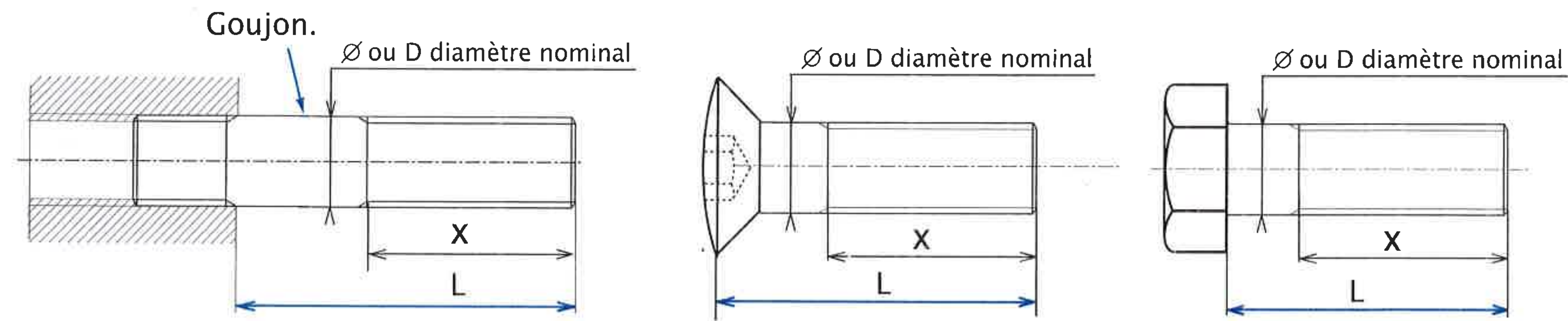
Avant un taraudage, le diamètre de *perçage* se calcule en retirant le pas au diamètre nominal ex : M10 = 10 mm -1,5 mm = 8,5 mm

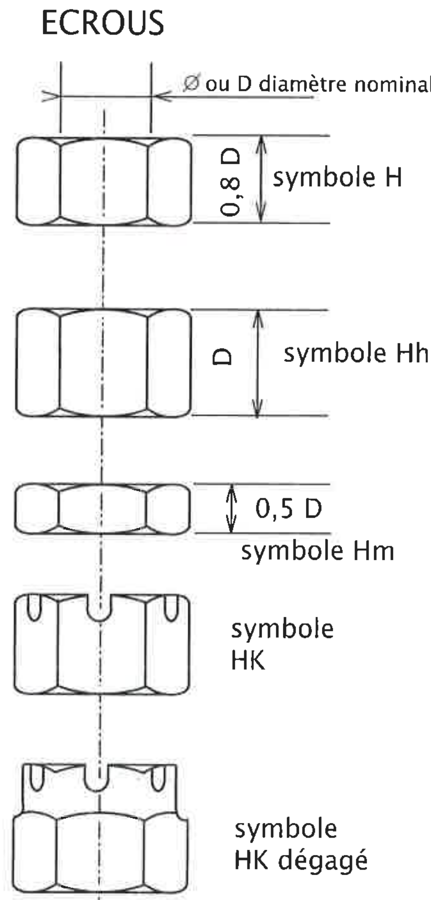
La filière permet de réaliser des filetages extérieurs. Ils s'effectuent sur un axe au diamètre nominal.
Deux dispositifs facilitent l'engagement de la filière :

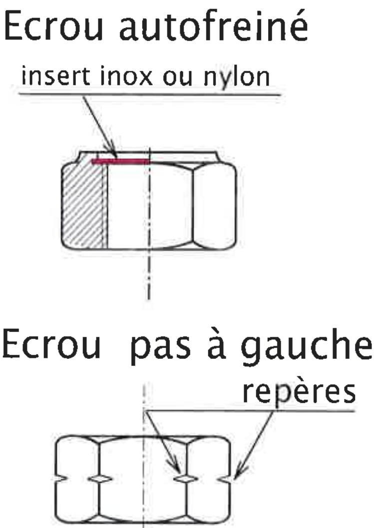
- un chanfrein placé du côté de l'inscription des caractéristiques du filet,
- un cône d'attaque usiné suivant la cote H, si sa réalisation n'est pas possible, prévoir au minimum un chanfrein.

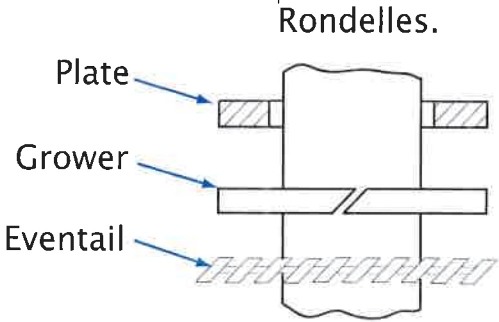
Pendant ces usinages, utilisez de l'huile de coupe, faites de très légers retours en arrière pour casser les copeaux.

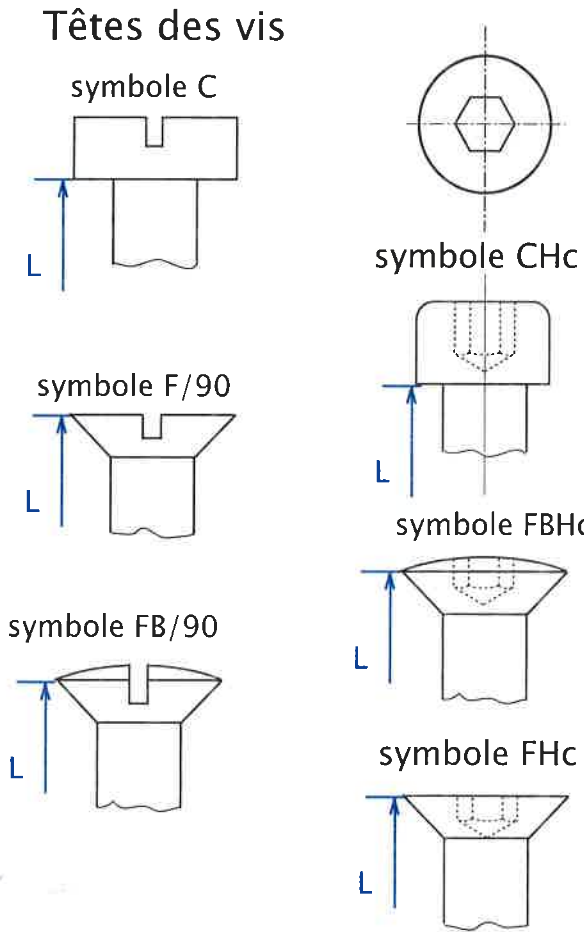
Visserie usuelle : détermination et appellation.











Visserie usuelle.

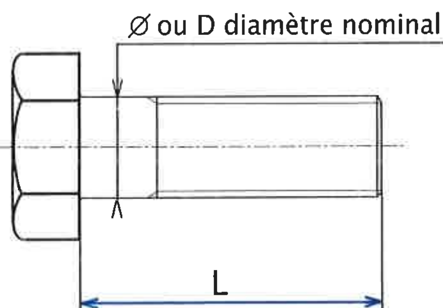
Une vis se définit par :

- ⇨ son usage (vis à bois, vis à tôle, vis métaux, etc.),
- ⇨ la forme de la tête TH (tête hexagonale), CHc (six pans creux), FHc (fraisée hexagonale creuse), etc.
- ⇨ la matière utilisée (acier, laiton, inox, etc.),
- ⇨ la norme DIN (D), UNI (I), ANSI (USA), NFE (F), BS (GB) ou ISO (internationale),
- ⇨ l'état de finition (brut, zingué, etc.),
- ⇨ le filetage (pas normal ou fin, filet trapézoïdal ou rond).
- ⇨ la classe de la matière. Ce repère indique la résistance des matériaux utilisés pour la confection de la visserie.

Le marquage 10.9 figure sur la vis et sur l'écrou.
Le premier nombre correspond à 1/10 de la valeur de la résistance minimale à la traction, elle est exprimée en da N/mm^2.
Le second nombre multiplié par le premier donne la limite d'élasticité en da N/mm^2.
Exemple d'une vis HM 10 dont la classe est 10.9. La section du noyau est de 58 mm^2.
La résistance à la traction est : 58 x 10 x 10 = 5800 daN.
La limite élastique est 58 x 10 x 9 = 5220 daN.
La notion de limite élastique est importante car lorsqu'elle est atteinte, la vis allongée ne retrouve plus sa longueur d'origine.

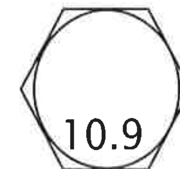
C'est tout l'intérêt d'utiliser la clé dynamométrique pour les assemblages mécaniques et d'utiliser des vis et des écrous de même classe.

Nota : dans le langage courant, la visserie est dénommée par des kgf, exemple : vis de 80 kgf.
L'erreur est faible car 1 daN = 1,02 kgf.



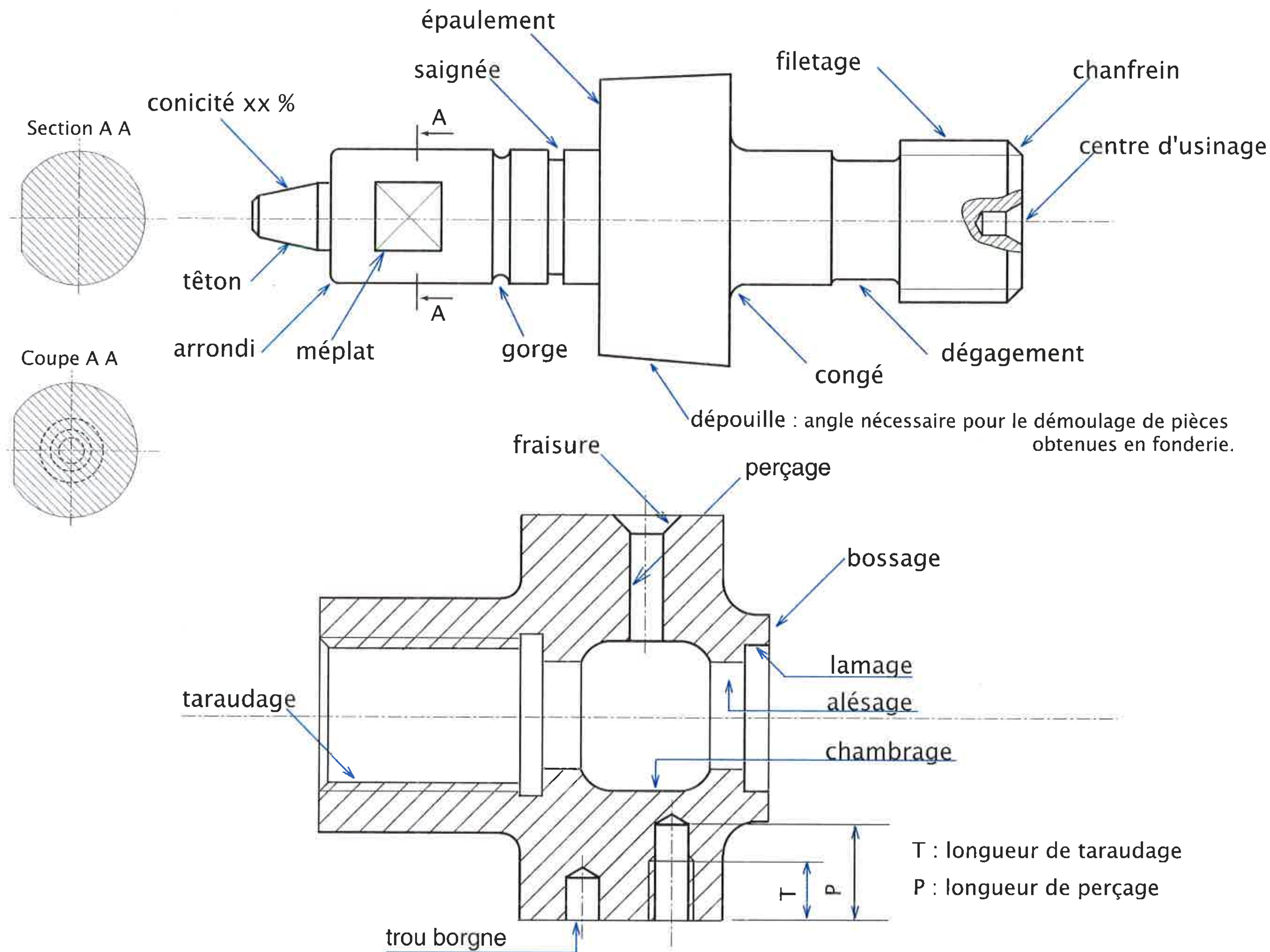
Désignation d'une vis.
1- vis,
2- symbole de la tête H,
3- symbole M (métrique),
4- diamètre nominal 18,
5- longueur L de la vis 60,
6- classe de résistance 10.9.

Marquage de la visserie



Exemple : vis H M 18-60 10.9

Termes utilisés en construction mécanique.



Coup

Ce table

Le coeffi

0,20 pou

Couples de serrage recommandés.

Ce tableau ne doit en aucun cas remplacer les données fournies par les constructeurs, il peut être une aide en l'absence d'informations.

Le coefficient de frottement moyen, μ , correspond à l'état de la visserie. Exemple : 0,10 pour une lubrification de bonne qualité, 0,20 pour un montage à sec. C'est un coefficient de 0,10 qui est appliqué dans le tableau ci-dessous (Doc. FACOM).

ISO 272			Classes de qualité des aciers ISO 898-1											
Diamètre Nominal	PAS	Clé	5,8		6,8		8,8		9,8		10,9		12,9	
mm	mm	mm	N.m	kgf.m	N.m	kgf.m	N.m	kgf.m	N.m	kgf.m	N.m	kgf.m	N.m	kgf.m
4	0,70	7	1,44	0,15	1,65	0,17	2,20	0,22	2,49	0,25	3,23	0,33	3,78	0,39
5	0,80	8	2,85	0,29	3,25	0,33	4,34	0,44	4,92	0,50	6,3	0,64	7,4	0,75
6	1	10	4,95	0,50	5,6	0,57	7,5	0,77	8,53	0,87	11	1,12	12,9	1,32
8	1,25	13	11,9	1,21	13,6	1,39	18,2	1,86	20,63	2,10	26	2,65	31	3,16
10	1,50	16	23	2,35	27	2,75	36	3,67	41	4,18	52	5,30	61	6,22
12	1,75	18	40	4,08	46	4,69	62	6,32	70	7,14	91	9,28	106	10,81
14	2	21	65	6,63	74	7,55	99	10,10	111	11,32	145	14,79	170	17,34
16	2	24	100	10,20	115	11,73	153	15,61	173	17,65	225	22,95	263	26,83
18	2,5	27	139	14,18	159	16,22	220	22,44			313	31,93	366	37,33
20	2,5	30	196	19,99	225	22,95	311	31,72			440	44,88	515	52,53
22	2,5	34	269	27,44	307	31,31	424	43,25			602	61,40	704	71,81
24	3	36	338	34,48	569	58,04	534	54,47			758	77,32	887	90,47
27	3	41	498	50,80	773	78,85	784	79,97			1114	113,63	1304	133,01
30	3,5	46	677	69,05	1046	106,69	1067	108,83			1515	154,53	1773	180,85

Tableau de conversions.			
Convertir des N.m	Convertir des kgf.m	Convertir des lbf.ft	Convertir des lbf.in
1 N.m= 0,102 kgf.m	1 kgf.m = 9,81 N.m	1 lbf.ft = 1,35 N.m	1 lbf.in = 0,1129 N.m
1 N.m = 0,738 lbf.ft	1 kgf.m =7,23 lbf.ft	1 lbf.ft = 0,138 kgf.m	1 lbf.in = 0,0115 kgf.m
1 N.m = 8,851 lbf.in	1 kgf.m =86,8 lbf.in	1 lbf.ft = 12 lbf.in	1 lbf.in =0,083 lbf.ft

Tableaux des écarts en microns. 1μ =1 micron = 1/1000 de mm = 0,001 mm.

Cotes nominales	Alésages							
	H7	H8	H12	H13	N7	P6	P7	P9
3 à 6 Inclus	+12 0	+18 0	+120 0	+180 0	0 -12	-8 -16	-8 -20	-8 -38
6 à 10 Inclus	+15 0	+22 0	+150 0	+220 0	0 -15	-9 -18	-9 -24	-9 -45
10 à 18 Inclus	+18 0	+27 0	+180 0	+270 0	0 -18	-11 -22	-11 -29	-11 -54
18 à 30 Inclus	+21 0	+33 0	+210 0	+330 0	0 -21	-14 -27	-14 -35	-14 -66
30 à 50 Inclus	+25 0	+39 0	+250 0	+390 0	0 -25	-17 -33	-17 -42	-17 -79
50 à 80 Inclus	+30 0	+46 0	+300 0	+460 0	0 -30	-21 -40	-21 -51	-21 -95

Exemple d'un assemblage de 48 H7 g6.

Ø maximum de l'alésage : 48,025mm (48 + 0,25)
Ø minimum de l'alésage : 48 mm . (48-0)

Ø maximum de l'arbre : 47,991mm. (48-0,009)
Ø minimum de l'arbre : 47,975 mm. (48 - 0,025)

Après réalisation :

le jeu maxi est de 0,050 mm
(48,025 - 47,975= 0,050mm)

le jeu mini est de 0,009 mm
(48 - 47,991 = 0,009 mm)

Cotes nominales	Arbres													
	e7	e8	e9	f7	f8	g6	g7	h6	h7	h8	h10	h11	m6	n6	p6
3 à 6 Inclus	-20 -32	-20 -38	-20 -50	-10 -22	-10 -28	-4 -12	-4 -16	0 -8	0 -12	0 -18	0 -48	0 -75	+12 +4	+16 +8	+20 +12
6 à 10 Inclus	-25 -40	-25 -47	-25 -61	-13 -28	-13 -35	-5 -14	-5 -20	0 -9	0 -15	0 -22	0 -58	0 -90	+15 +6	+19 +10	+24 +15
10 à 18 Inclus	-32 -50	-32 -59	-32 -75	-16 -34	-16 -43	-6 -17	-6 -24	0 -11	0 -18	0 -27	0 -70	0 -110	+18 +7	+23 +12	+29 +18
18 à 30 Inclus	-40 -61	-40 -73	-40 -92	-20 -41	-20 -53	-7 -20	-7 -28	0 -13	0 -21	0 -33	0 -84	0 -130	+21 +8	+28 +15	+35 +22
30 à 50 Inclus	-50 -75	-50 -89	-50 -112	-25 -50	-25 -64	-9 -25	-9 -34	0 -16	0 -25	0 -39	0 -100	0 -160	+25 +9	+33 +17	+42 +26
50 à 80 Inclus	-60 -90	-60 -106	-60 -134	-30 -60	-30- 76	-10 -29	-10 -40	0 -19	0 -30	0 -46	0 -120	0 -190	+30 +11	+39 +20	+51 +32

7 g6.

)

)

Les dimensions et les tolérances en construction mécanique.

La réalisation d'une pièce mécanique est conforme lorsqu'elle répond aux critères normatifs appliqués dans la profession.

Critères pris en compte :

- les dimensions et leurs tolérances,
- les formes et leurs tolérances (rectitude, planéité, circularité, cylindricité, parallélisme, symétrie, etc.),
- les positions et leurs tolérances (parallélisme, symétrie, perpendicularité, concentricité, etc.),
- les états de surface (obtenus par outils de coupe, rectification, rodage, etc.),
- les spécifications (certains usinages comme le rodage, orientation des stries d'usinage, etc.).

Dans l'exercice de notre métier, on peut être appelé d'une part à relever des cotes pour vérifier l'état d'usure d'un compresseur, d'autre part à analyser des assemblages qui ne donnent pas satisfaction.
Dans ce carnet, nous n'aborderons que le domaine dimensionnel et ses tolérances.

Lors d'usinages, il est *impossible* de réaliser des cotes rigoureuses. Cette difficulté est due à l'imperfection des machines outils et des moyens de mesure. Pour obtenir l'interchangeabilité des pièces, un système de tolérances a été mis en place depuis 1947 par une normalisation internationale (ISO). Les dimensions normalisées s'étendent de 0 à 500 mm.

Le tableau de la page de gauche donne un aperçu des tolérances pour des diamètres de 3 à 80 mm. Tous les ateliers d'usinage possèdent l'ensemble des ajustements pour réaliser les travaux des clients. Dans notre cadre, l'objectif est de comprendre l'utilisation des tableaux.

L'expression "arbre" s'applique à tous les contenus (clavettes, pied de centrage, circlips, etc.).
L'expression "alésage" s'applique à tous les contenants (rainure, mortaise, glissière, etc.).

L'ajustement concerne l'assemblage de 2 pièces de même *cote nominale*.
Les alésages sont repérés par une lettre majuscule ici H, suivie d'un chiffre qui positionne la tolérance souhaitée ici 7. Alésage H7.
Les arbres sont repérés par une lettre minuscule ici g, suivie d'un chiffre qui positionne la tolérance souhaitée ici 6. Arbre g6.
Sur la page de gauche, le calcul des diamètres permet de vérifier si les pièces que vous contrôlez sont "dans la tolérance".
Ce contrôle se fait en cours d'usinage ou lors d'une intervention sur un système mécanique.

Tableaux des écarts en microns.

1µ =1 micron = 1/1000 de mm = 0,001 mm.

Cotes nominales	Alésages							
	H7	H8	H12	H13	N7	P6	P7	P9
3 à 6 Inclus	+12 0	+18 0	+120 0	+180 0	0 -12	-8 -16	-8 -20	-8 -38
6 à 10 Inclus	+15 0	+22 0	+150 0	+220 0	0 -15	-9 -18	-9 -24	-9 -45
10 à 18 Inclus	+18 0	+27 0	+180 0	+270 0	0 -18	-11 -22	-11 -29	-11 -54
18 à 30 Inclus	+21 0	+33 0	+210 0	+330 0	0 -21	-14 -27	-14 -35	-14 -66
30 à 50 Inclus	+25 0	+39 0	+250 0	+390 0	0 -25	-17 -33	-17 -42	-17 -79
50 à 80 Inclus	+30 0	+46 0	+300 0	+460 0	0 -30	-21 -40	-21 -51	-21 -95

Exemples des assemblages A, B et C.

Assemblage A : H7 f7.

Jeu maxi : 0,075 mm

Jeu mini : 0,025 mm

Assemblage B : H7 m6.

Jeu maxi : 0,016 mm

Jeu mini : -0,025 mm

Assemblage C : H7 p6.

Jeu maxi : - 0,001 mm

jeu mini : - 0,042 mm

Les assemblages B et C nécessiteront des moyens de montage tels que : maillet, presse, chauffage ou refroidissement de l'une des pièces.

Cotes nominales	Arbres														
	e7	e8	e9	f7	f8	g6	g7	h6	h7	h8	h10	h11	m6	n6	p6
3 à 6 Inclus	-20 -32	-20 -38	-20 -50	-10 -22	-10 -28	-4 -12	-4 -16	0 -8	0 -12	0 -18	0 -48	0 -75	+12 +4	+16 +8	+20 +12
6 à 10 Inclus	-25 -40	-25 -47	-25 -61	-13 -28	-13 -35	-5 -14	-5 -20	0 -9	0 -15	0 -22	0 -58	0 -90	+15 +6	+19 +10	+24 +15
10 à 18 Inclus	-32 -50	-32 -59	-32 -75	-16 -34	-16 -43	-6 -17	-6 -24	0 -11	0 -18	0 -27	0 -70	0 -110	+18 +7	+23 +12	+29 +18
18 à 30 Inclus	-40 -61	-40 -73	-40 -92	-20 -41	-20 -53	-7 -20	-7 -28	0 -13	0 -21	0 -33	0 -84	0 -130	+21 +8	+28 +15	+35 +22
30 à 50 Inclus	-50 -75	-50 -89	-50 -112	-25 -50	-25 -64	-9 -25	-9 -34	0 -16	0 -25	0 -39	0 -100	0 -160	+25 +9	+33 +17	+42 +26
50 à 80 Inclus	-60 -90	-60 -106	-60 -134	-30 -60	-30- 76	-10 -29	-10 -40	0 -19	0 -30	0 -46	0 -120	0 -190	+30 +11	+39 +20	+51 +32

Posi

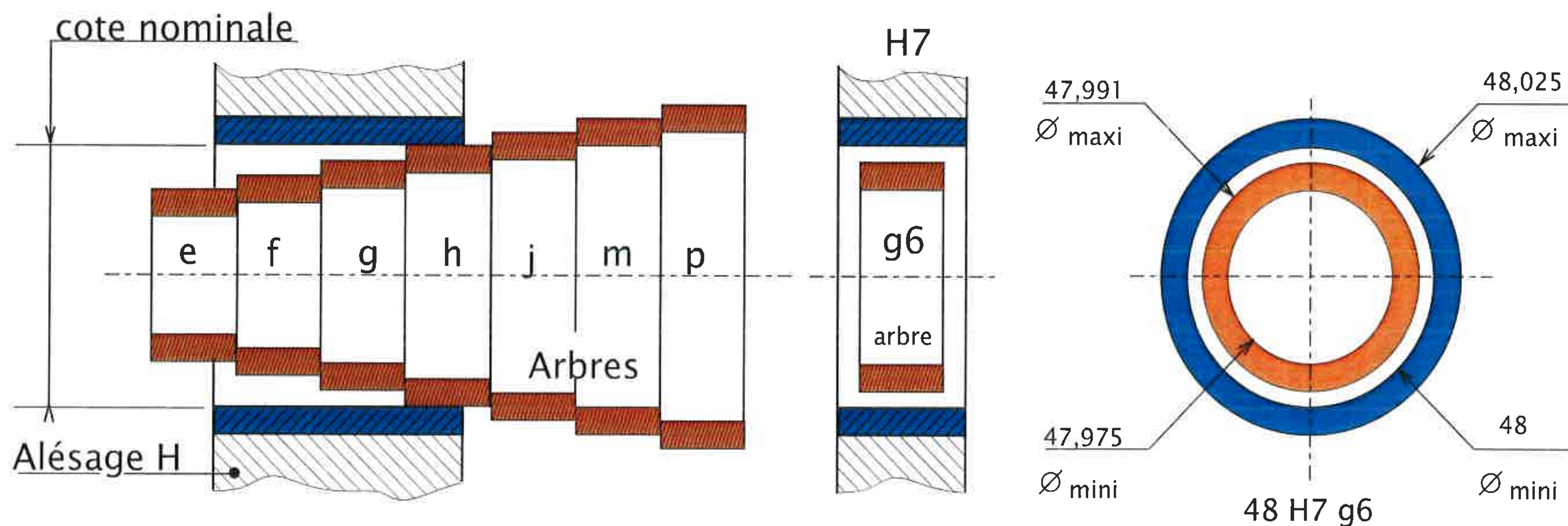


Alés



C.

Positionnement des arbres et des alésages suivant les tolérances choisies.



de

cote nominale

48

H7

f7

arbre

Ø 47,95

Ø 47,975

Montage A

H7

m6

arbre

Ø 48,009

Ø 48,025

Montage B

H7

p6

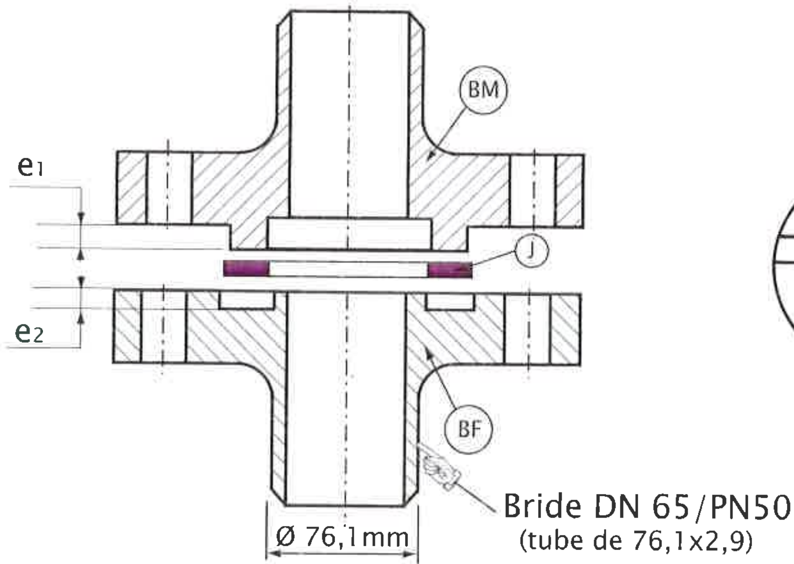
arbre

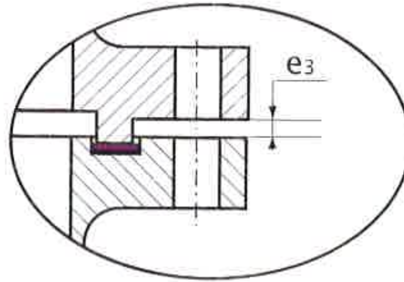
Ø 48,026

Ø 48,042

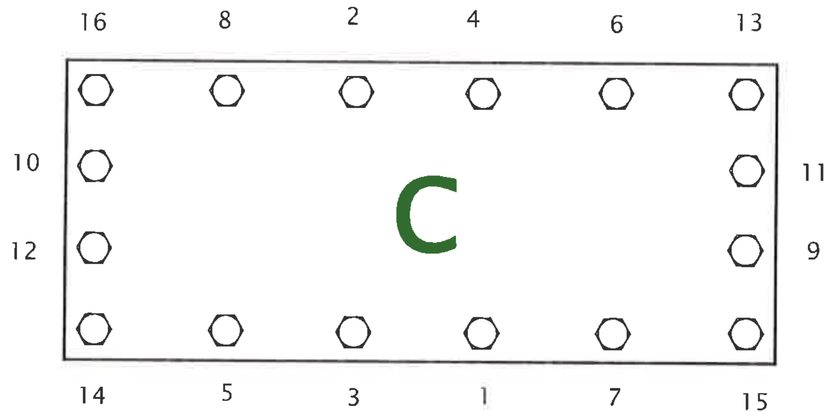
Montage C

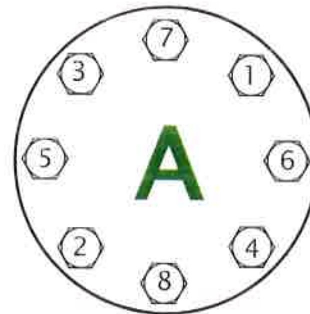
Ordre de serrage de la visserie

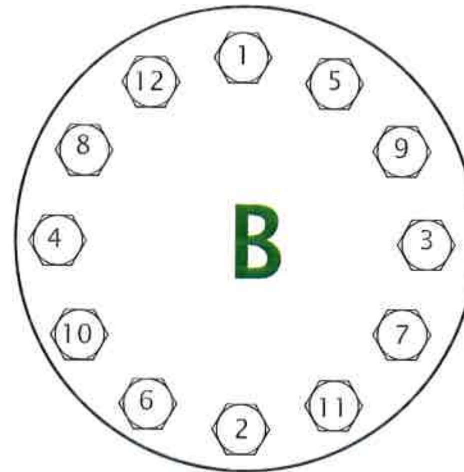


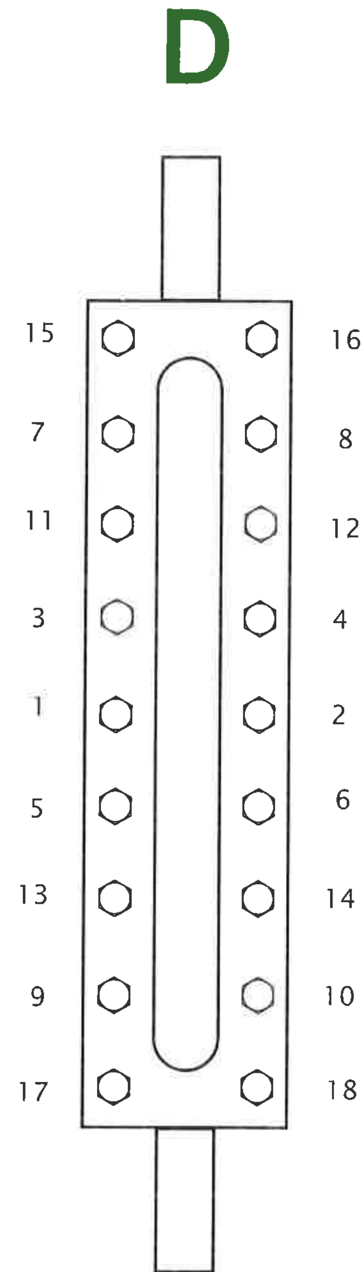


Bride à emboîtement









Penser à graisser ou à huiler les joints.

Assemblage par brides et ordre de serrage de la visserie.

Dans les équipements frigorifiques, peu de connexions se font par brides plates, elles sont réservées aux circuits d'eau ou de fluides ne présentant pas de risque en cas de fuite. L'emploi de brides à emboîtement est donc largement diffusé, c'est le cas des couvercles de boitiers de déshydrateurs, de vannes de régulation, des fonds de séparateurs d'huile, des vannes de service des compresseurs, etc.

Ce système évite les déplacements latéraux des brides. Quant à l'étanchéité, elle dépend de l'usinage des brides.

En effet, la cote e1de la bride mâle (BM) doit être supérieure à la cote e2 de la bride femelle (BF). Après montage du joint (J), un espace e3 atteste du bon assemblage des brides.

Une bride est définie par son diamètre nominal, DN, exprimé en mm et sa pression nominale, PN, exprimée en bar.

Ordre de serrage de la visserie.

L'efficacité d'une étanchéité par joint plat se trouve renforcée en respectant 3 points:

- huiler ou graisser le joint,
- respecter l'ordre de serrage,
- respecter les couples de serrage préconisés par le fabricant.

Dans un tel document, il est impossible de répertorier tous les ordres de serrage imposés par les constructeurs, cependant les exemples cités vous donnent une méthode pour extrapoler devant une situation nouvelle.

Sur la page de gauche, 4 cas courants :

- un couvercle de boitier de déshydrateur -A-,
- une flasque de pompe à huile -B-,
- une culasse de compresseur -C-,
- un indicateur de niveau-D-.

Important : l'ordre de serrage permet une descente parallèle de la pièce à serrer à condition de procéder à plusieurs rotations ou étapes.

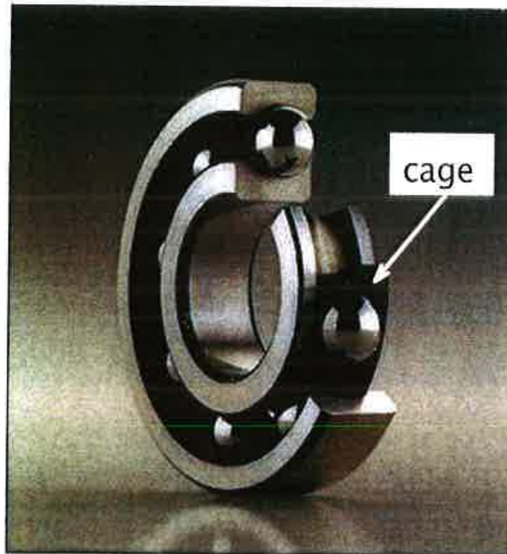
Il est impératif de respecter cette méthode lors du montage de la glace sur un indicateur de niveau !

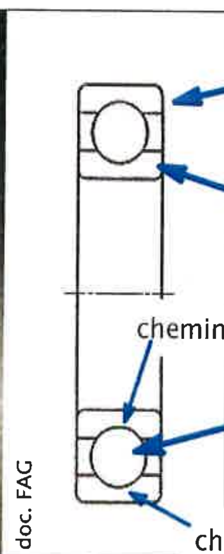
En l'absence de recommandations, le couple de serrage peut être divisé par 4. Le premier serrage se fait à la main, les suivants à la clé dynamométrique. Après chaque rotation de serrage, le couple est augmenté du quart de sa valeur.

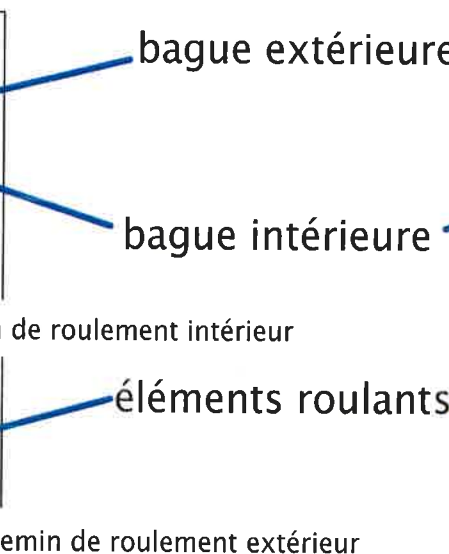
Exemple : pour le serrage des couvercles de ses boitiers de déshydrateurs, DANFOSS préconise la méthode suivante :

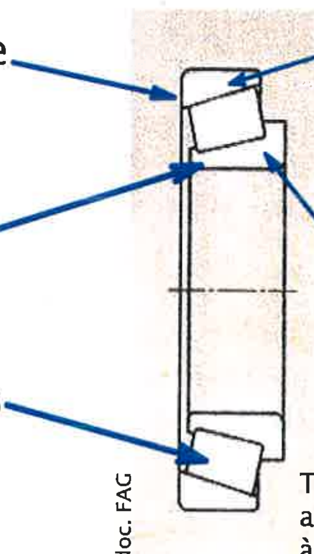
première étape serrage à la main, deuxième étape serrage à 3 Nm, troisième étape 10 Nm, quatrième étape 20 Nm, dernière étape 35Nm.

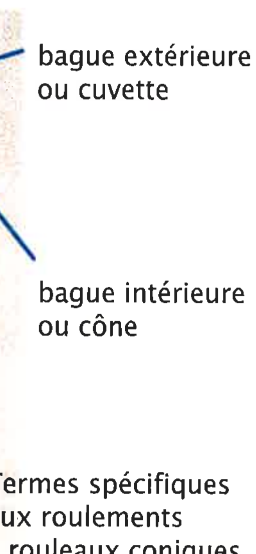
16
8
12
4
2
6
14
10
18











Eléments roulants



Billes



Rouleaux cylindriques



Rouleaux coniques



Rouleaux sphériques



Aiguilles

Cages



Tôle emboutie



Massive usinée



Matière synthétique

LES R
Fonct
Les co
Le dim
Exe
Ceci es
La réfé
Le pre
Les 2 c
diamèt
La com
Les dé
Les 2 (
obteni
La mét
Des ex
Pour le
Décod
Le
Ces su
Certes
utilise
Sur la

LES ROULEMENTS.

Fonctions : les roulements sont des organes utilisés dans les mécanismes pour substituer aux résistances de glissement des résistances de roulement beaucoup plus faibles qui permettent une économie d'énergie.

Les constructeurs et les utilisateurs ont l'intérêt commun de limiter le nombre de dimensions des roulements.
Le dimensionnement des roulements fait donc l'objet de normalisations internationales.

Exemple : les roulements radiaux à billes à cotes métriques sont répertoriés dans la norme ISO 15.1998.

Quel que soit le fabricant, pour une même référence, l'interchangeabilité du roulement est assurée.

Ceci est vrai pour l'essentiel des roulements que nous employons dans les compresseurs, les moteurs et les paliers.

La référence d'un roulement se décompose ainsi :

Le premier chiffre ou la première lettre identifie le "type" de roulement ou la "série" (voir page suivante).

Les 2 chiffres suivants identifient la série des dimensions ISO, le premier indique la largeur ou la hauteur, le second le diamètre extérieur.

La combinaison de ces 2 chiffres nous donne un nombre qui correspond à "l'encombrement" du roulement.
Les détails dimensionnels apparaissent dans les documents des constructeurs.

Les 2 derniers chiffres indiquent les dimensions de l'alésage du roulement, cette valeur doit être multipliée par 5 pour obtenir le diamètre en mm.

La méthode est applicable pour des roulements de 10 à 500 mm.

Des exceptions pour les diamètres de 10, 12, 15 et 17. Les codes d'identification sont respectivement : 00, 01, 02 et 03.

Pour les diamètres de 22, 28 ou 32, une barre oblique suivie du diamètre en mm : /28.

Décodons les références de 2 roulements, l'un 6205 2RSR et l'autre 6305 2Z :

⇒ tous deux sont des roulements à 1 rangée de billes (6),
⇒ le premier appartient à la série 20, il a un ∅ ext. de 47 mm et une largeur de 12 mm,
⇒ le second appartient à la série 30, il a un ∅ ext. de 62 pour une largeur de 17 mm,
⇒ leur alésage est de 25 mm (5 X 5).

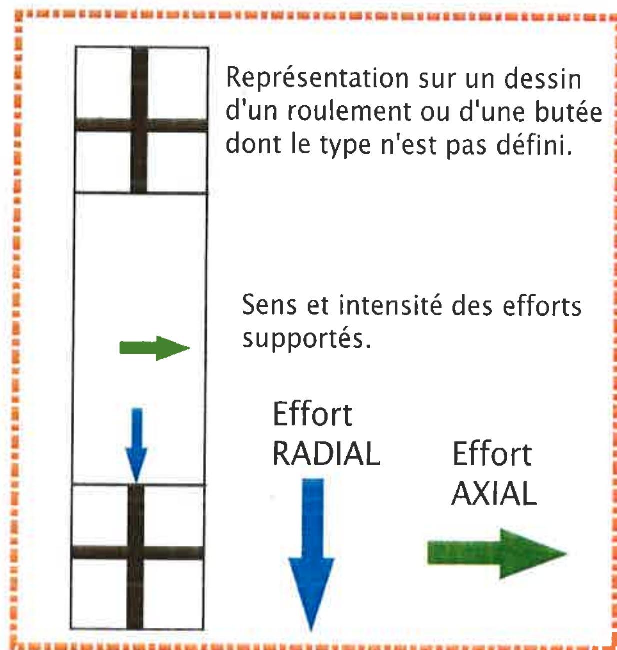
Les suffixes 2RSR et 2Z donnent des indications sur l'étanchéité, la constitution des cages, les traitements thermiques, etc.

Ces suffixes varient suivant les fabricants, ils ne sont pas normés, mais complètent la désignation d'un roulement.

Lors d'une commande, il est impératif de les mentionner.

Certes, notre activité n'est pas de sélectionner des roulements, mais lors d'opérations de maintenance, nous devons utiliser le bon produit au bon endroit.

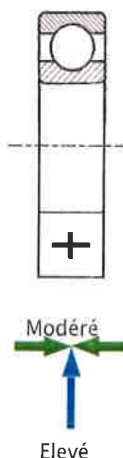
Sur la page de gauche figure la terminologie relative aux roulements.



Roulements et butées

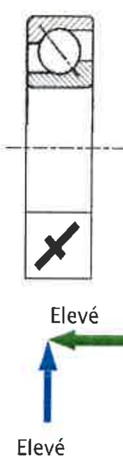
Série 6

Type BC



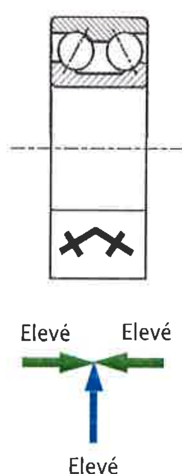
Série 7

Type BA

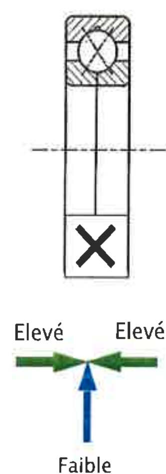


Série 0

Type BE

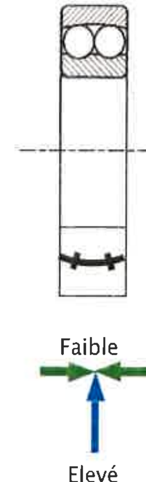


Série Q J



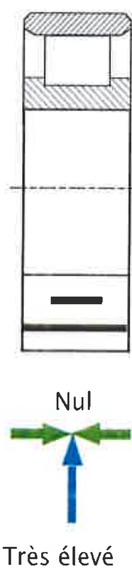
Série 1

Type BS



Série N

Type N



Type NU

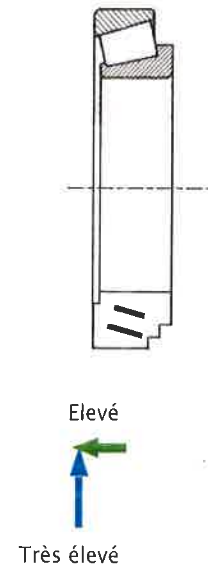


Type NJ



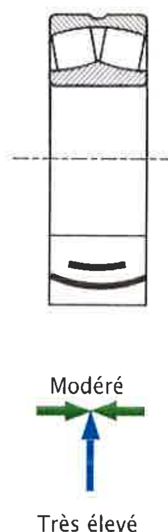
Série 3

Types KA – KB – KC – KD et KE suivant l'angle



Série 2

Type SD



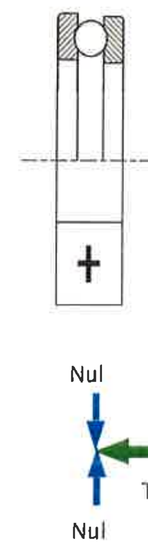
Série C

Type NEA

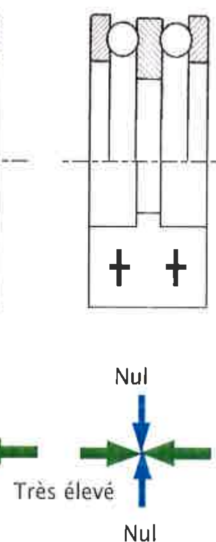


Série 5

Simple effet. Type TA



Double effet. Type TDC



Types de roulements et de butées.

Les roulements sont classés selon la nature des charges qu'ils supportent :

- les roulements radiaux pour les charges radiales importantes, en bleu sur la page de gauche,
- les roulements axiaux ou butée pour des charges qui s'exercent suivant l'axe, en vert sur la page de gauche.

Les fabricants ont conçu des roulements qui répondent à ces 2 contraintes.
Sur chaque représentation :

- en partie basse, la représentation symbolique utilisée en dessin industriel,
- en partie haute, la coupe réelle du roulement, le N° de série dans la norme ISO ainsi que l'appellation usitée par les dessinateurs

Série 6 ou type BC. Roulement rigide, à une ou deux rangées de billes. Pas de sens de montage.

Série 7 ou type BA. Roulement à contact oblique à 1 rangée de billes. Ce roulement possède un sens de montage.

Série 0 ou type BE. Roulement à contact oblique à 2 rangées de billes. Pas de sens de montage.

Série QJ. Roulement à billes à 4 points de contact. Pas de sens de montage.

Série 1 ou type BS. Roulement à rotule à 2 rangées de billes. Pas de sens de montage.

Série N ou type N. Roulement rigide à rouleaux cylindriques. Pas de sens de montage, il permet un léger déplacement longitudinal.

Série N ou type NU. Roulement rigide à rouleaux cylindriques. Pas de sens de montage, il permet un léger déplacement longitudinal.

Série N ou type NJ. Roulement rigide à rouleaux cylindriques. Possède un sens de montage.

Série 3 ou type K. Roulement à rouleaux coniques. Possède un sens de montage. Souvent montés par paire.

Série 2 ou type SD. Roulement à rotule sur rouleaux sphériques. Ne possède pas de sens de montage.

Série C ou type NEA. Roulement à aiguilles. Ne possède pas de sens de montage. Plusieurs versions existent avec ou sans bague ainsi qu'en version butée, alors les aiguilles sont à plat à l'image des butées de la série 5.

Série 5 ou type TA. Butée à bille à simple effet. Cette butée possède un sens de montage.

Série 5 ou type TDA. Butée à bille à double effet. Cette butée ne possède pas de sens de montage.

Montage et démontage des roulements.

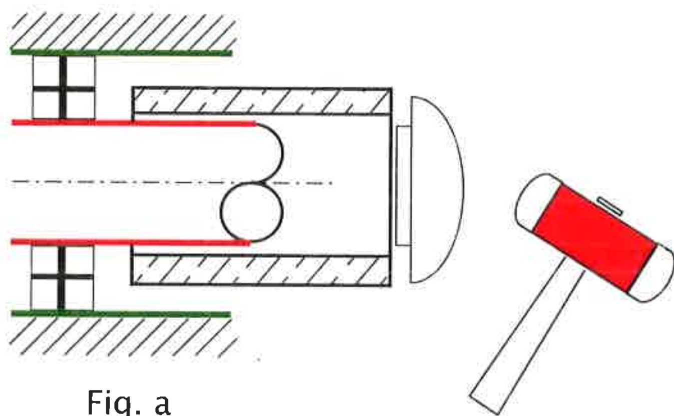


Fig. a

Montage ou démontage d'une bague intérieure serrée

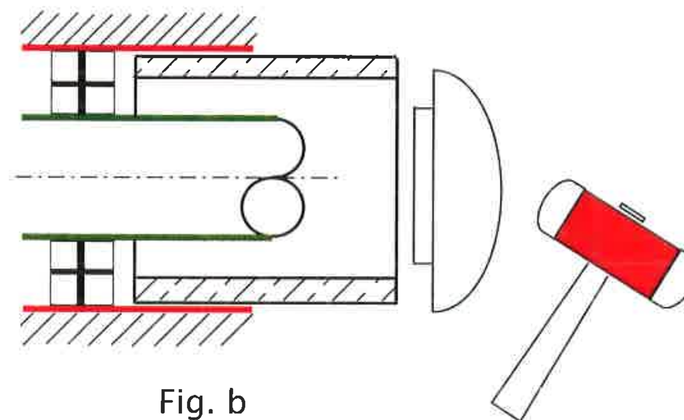


Fig. b

Montage ou démontage d'une bague extérieure serrée



presse hydraulique



plaque chauffante



chauffage par induction



Fig. c



Fig. d



Fig. e

Montage et démontage des roulements.

Les roulements sont des organes de précision, leur mise en œuvre doit faire l'objet d'une attention toute particulière.
Des règles simples appliquées lors du montage participent à un bon fonctionnement des roulements :

- avant le montage, prendre connaissance du plan du constructeur,
- avant le montage, vérifier les références du roulement et en particulier les suffixes qui complètent sa dénomination,
- le poste de montage doit être propre,
- sortir le roulement de son emballage au dernier moment,
- ne pas le laver dans du solvant,
- pour nettoyer les portées des bagues ou les logements de roulement, utiliser des pinceaux, brosses ou chiffons non-pelucheux,
- huiler légèrement les portées de bagues.

La méthode de mise en place d'un roulement dépend des ajustements prescrits par le constructeur.

Moyens de montage des roulements :

- ➢ emmanchement avec une douille de montage et un marteau. En aucun cas, la douille ne doit porter sur les éléments roulants. Les efforts de montage doivent être appliqués sur la bague serrée (fig. a ou fig. b).
- ➢ presse hydraulique,
- ➢ chauffage du roulement :
  - ❖ sur une plaque chauffante avec réglage thermostatique,
  - ❖ dans une étuve ou un four à air chaud,
  - ❖ avec un appareil de chauffage par induction, moyen rapide, sûr et propre,
  - ❖ dans un bain d'huile avec contrôle de la température entre 80 °C et 100 °C,

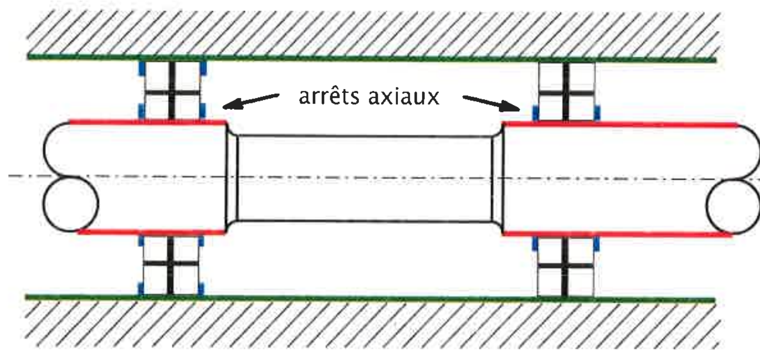
    un procédé efficace, mais des moyens de chauffage moins risqués sont préférables.

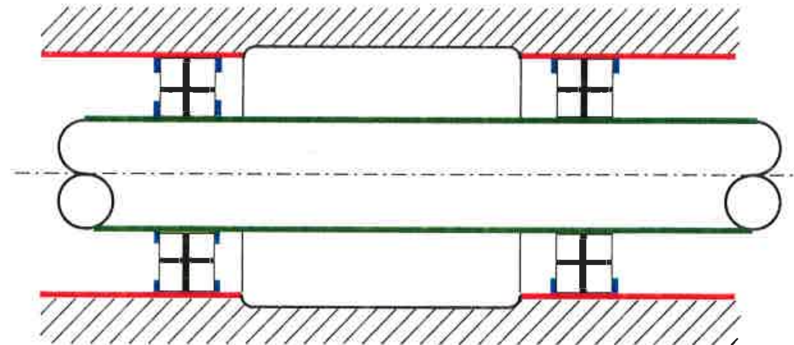
Les dispositifs de réchauffage peuvent être utilisés pour d'autres pièces mécaniques, en particulier les tourteaux d'accouplement.

Pour le démontage, les constructeurs proposent des extracteurs à griffes pour les roulements accessibles (fig. c et d) et d'autres extracteurs pour les roulements logés dans des paliers borgnes (fig. e).

Afin de préserver les portées, les opérations de démontage doivent être menées avec autant de soins que les opérations de montage.

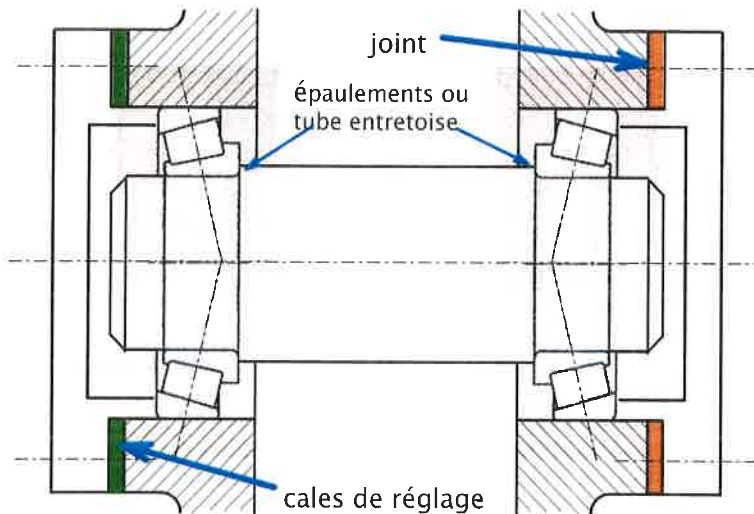
Mise en oeuvre des roulements



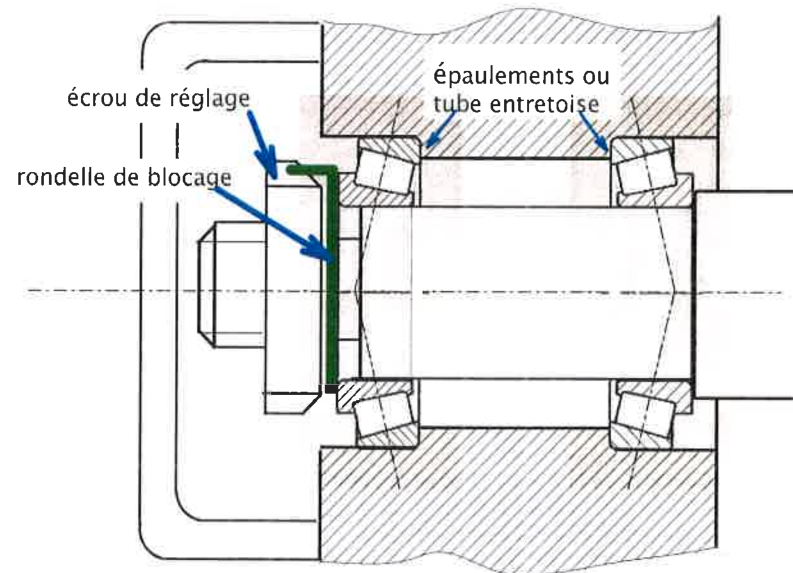


Arbre tournant

Arbre fixe . Moyeu tournant



Montage en X



Montage en O

Mise en œuvre des roulements.

La mise en œuvre des roulements fait l'objet d'études qui prennent en compte toutes les conditions de fonctionnement des systèmes mécaniques. Cette page ne regroupe donc pas tous les montages existants, elle nous donne simplement les principes de base que l'on doit connaître avant d'intervenir sur un dispositif mécanique.

Dans un montage, seule une bague du roulement tourne, ceci est obtenu par le choix des ajustements et l'emplacement des arrêts axiaux.

Deux cas se présentent:

- le moyeu tourne, mais nous avons peu ou pas d'exemple dans notre profession,
- l'arbre tourne, cette situation regroupe l'essentiel de nos équipements (moteurs, compresseurs, paliers, etc.).

Les ajustements.

La bague qui tourne par rapport à la direction de la charge doit être ajustée avec serrage, montage "serré" représenté en rouge.
La bague qui ne tourne pas par rapport à la direction de la charge doit être ajustée "glissant", montage "glissant" représenté en vert.
Les tolérances d'usinage ont été abordées à la page XX. La valeur du serrage croît avec l'importance de la charge.

Les arrêts axiaux.

Ils sont en traits bleus sur la page de gauche.

Un ajustement serré, à lui seul, est insuffisant pour immobiliser axialement une bague de roulement. Il est nécessaire de prévoir des dispositifs de blocage. Les constructeurs utilisent des épaulements usinés, des circlips, des tubes entretoises, des couvercles, etc.

Le nombre et l'emplacement des arrêts dépendent aussi du type de roulement, dans toutes les situations, ils ne doivent pas contraindre la dilatation des pièces.

NOTES PERSONNELLES

Caractéristiques des fluides frigorigènes.

Caractéristiques des frigoporteurs et des caloporteurs.

Caractéristiques thermodynamiques des fluides frigorigènes : état saturé, volume massique et enthalpie.

Frigoporteurs et caloporteurs : masse volumique et chaleur massique

TABLE 1	*CARACTERISTIQUES THERMODYNAMIQUES DU R22*								*Etat saturé*
Temp. °C	Pressions		Masse volumique		Volume massique		Enthalpie		Chaleur vaporisation lv kj/kg
	absolue pa bar	effective pe bar	liquide ρ' kg/m³	vapeur ρ'' kg/m³	liquide V' dm³/kg	vapeur V'' m³/kg	liquide h' kj/kg	vapeur h'' kj/kg	
-90	0,0481	-0,9649	1545	0,2744	0,647	3,6443	101,3	363,9	262,6
-80	0,1037	-0,9093	1518	0,5624	0,659	1,7781	111,9	368,8	256,9
-70	0,2047	-0,8083	1491	1,06	0,671	0,9434	122,6	373,7	251,1
-65	0,2794	-0,7336	1477	1,416	0,677	0,7062	127,9	376,2	248,3
-60	0,375	0,638	1464	1,863	0,683	0,5368	133,3	378,6	245,3
-55	0,4955	0,5175	1450	2,414	0,69	0,4143	138,6	381	242,4
-50	0,6453	0,3677	1436	3,088	0,696	0,3238	144	383,4	239,4
-45	0,8292	0,1838	1421	3,901	0,704	0,2563	149,4	385,8	236,4
-40,8	1,013	0	1409	4,704	0,71	0,2126	154	387,8	233,8
-40	1,052	0,039	1407	4,873	0,711	0,2052	154,9	388,1	233,2
-35	1,32	0,307	1392	6,025	0,718	0,166	160,4	390,4	230
-30	1,639	0,626	1377	7,379	0,726	0,1355	165,9	392,7	226,8
-25	2,014	1,001	1362	8,958	0,734	0,1116	171,4	394,9	223,5
-20	2,453	1,44	1347	10,79	0,742	0,0927	177	397,1	220,1
-15	2,962	1,949	1331	12,9	0,751	0,0775	182,7	399,2	216,5
-10	3,548	2,535	1315	15,32	0,76	0,0653	188,4	401,2	212,8
-5	4,218	3,205	1298	18,09	0,77	0,0553	194,2	403,2	209
0	4,98	3,967	1282	21,23	0,78	0,0471	200	405	205
5	5,841	4,828	1264	24,79	0,791	0,0403	205,9	406,8	200,9
10	6,809	5,796	1247	28,82	0,802	0,0347	211,9	408,6	196,7
15	7,893	6,88	1229	33,36	0,814	0,03	217,9	410,2	192,3
20	9,1	8,087	1210	38,48	0,826	0,026	224,1	411,7	187,6
25	10,44	9,427	1191	44,23	0,84	0,0226	230,3	413	182,7
30	11,92	10,907	1171	50,7	0,854	0,0197	236,6	414,3	177,7
35	13,55	12,537	1150	57,99	0,87	0,0172	243,1	415,3	172,2
40	15,34	14,327	1129	66,19	0,886	0,0151	249,6	416,2	166,6
45	17,29	16,277	1106	75,46	0,904	0,0133	256,4	417	160,6
50	19,43	18,417	1082	85,95	0,924	0,0116	263,2	417,4	154,2
55	21,75	20,737	1057	97,9	0,946	0,0102	270,3	417,7	147,4
60	24,27	23,257	1030	111,6	0,971	0,009	277,6	417,5	139,9
65	27,01	25,997	1001	127,4	0,999	0,0078	285,2	417,1	131,9
70	29,97	28,957	969,7	146	1,031	0,0068	293,1	416,1	123
75	33,18	32,167	934,4	168,2	1,07	0,0059	301,5	414,5	113
80	36,64	35,627	893,7	195,4	1,119	0,0051	310,4	412	101,6
85	40,38	39,367	844,8	230,6	1,184	0,0043	320,4	408,2	87,8
90	44,42	43,407	780,1	280,6	1,282	0,0036	332,1	401,9	69,8
95	48,82	47,807	662,9	382	1,509	0,0026	349,6	387,3	37,7
96	49,76	48,747	590,2	453,7	1,694	0,0022	358,7	376,6	17,9

D'après un document Climalife DEHON

Table 2							*CARACTERISTIQUES THERMODYNAMIQUES DU R22*								*Etat surchauffé*
Volume massique des vapeurs surchauffées(dm³/kg)							T° à sat. °C	P à sat. bar abs.	Enthalpie (Kj/kg)						
SURCHAUFFE (°C)									SURCHAUFFE (°C)						
5	10	15	20	25	30	40			5	10	15	20	25	30	40
3748	3849	3949	4050	4151	4252	4452	-90	0,0481	366,4	369	371,7	374,3	377	379,7	385,3
1826	1873	1920	1967	2014	2061	2154	-80	0,1037	371,4	374,1	376,8	379,6	382,3	385,1	390,8
967,1	992	1016	1040	1064	1088	1135	-70	0,2047	376,4	379,2	382	384,8	387,7	390,5	396,4
724,1	741,8	759,3	777	794,9	812,3	847,5	-65	0,2794	378,9	381,7	384,5	387,4	390,3	393,2	399,1
550,3	563,7	577	590,3	603,5	616,5	643,1	-60	0,375	381,4	384,3	387,2	390,1	393	395,9	401,9
424,4	434,6	444,8	454,9	464,9	475,1	495	-55	0,4955	383,9	386,8	389,7	392,7	395,6	398,6	404,7
331,8	339,7	347,6	355,4	363,2	371,1	386,5	-50	0,6453	386,3	389,3	392,3	395,3	398,3	401,3	407,5
262,6	268,8	275	281,2	287,3	293,4	305,5	-45	0,8292	388,8	391,8	394,8	397,9	400,9	404	410,3
217,9	223	228,1	233,2	238,3	243,3	253,3	-40,8	1,013	390,8	393,9	396,9	400	403,1	406,2	412,6
210,3	215,2	220,2	225,1	230	234,9	244,5	-40	1,052	391,2	394,2	397,3	400,4	403,5	406,7	413
170	174,1	178,1	182	186	190	197,7	-35	1,32	393,5	396,7	399,8	403	406,1	409,3	415,7
138,9	142,1	145,4	148,6	151,8	155	161,4	-30	1,639	395,9	399,1	402,2	405,5	408,7	411,9	418,5
114,4	117,1	119,8	122,5	125,2	127,8	133	-25	2,014	398,2	401,4	404,7	407,9	411,2	414,5	421,1
94,97	97,28	99,5	101,8	104	106,2	110,5	-20	2,453	400,4	403,7	407	410,4	413,7	417,1	423,8
79,49	81,43	83,33	85,18	87,03	88,89	92,51	-15	2,962	402,6	406	409,4	412,8	416,2	419,6	426,4
66,93	68,59	70,22	71,84	73,42	74,96	78,06	-10	3,548	404,7	408,2	411,6	415,1	418,6	422	429
56,75	58,17	59,56	60,94	62,31	63,65	66,27	-5	4,218	406,7	410,3	413,8	417,4	420,9	424,5	431,6
48,38	49,6	50,81	52	53,19	54,35	56,62	0	4,98	408,7	412,4	416	419,6	423,2	426,9	434,1
41,44	42,53	43,59	44,64	45,66	46,69	48,66	5	5,841	410,6	414,4	418,1	421,8	425,5	429,2	436,5
35,69	36,66	37,59	38,51	39,42	40,29	42,03	10	6,809	412,5	416,3	420,1	423,9	427,7	431,4	439
30,85	31,72	32,55	33,37	34,16	34,95	36,48	15	7,893	414,2	418,1	422,1	425,9	429,8	433,7	441,3
26,79	27,56	28,3	29,04	29,75	30,45	31,82	20	9,1	415,8	419,9	423,9	427,9	431,9	435,8	443,6
23,33	24,03	24,71	25,37	26,01	26,63	27,85	25	10,44	417,3	421,5	425,7	429,8	433,8	437,9	445,8
20,39	21,03	21,64	22,24	22,82	23,38	24,48	30	11,92	418,7	423,1	427,4	431,6	435,7	439,8	448
17,86	18,45	19,01	19,55	20,08	20,6	21,59	35	13,55	420	424,5	428,9	433,3	437,5	441,7	450,1
15,68	16,23	16,74	17,25	17,73	18,2	19,1	40	15,34	421,1	425,8	430,4	434,8	439,2	443,6	452,1
13,8	14,31	14,8	15,26	15,7	16,13	16,96	45	17,29	422,1	427	431,7	436,3	440,8	445,3	454
12,15	12,63	13,09	13,52	13,93	14,33	15,09	50	19,43	422,8	427,9	432,9	437,6	442,3	446,9	455,9
10,71	11,17	11,6	12,01	12,39	12,76	13,47	55	21,75	423,4	428,8	433,9	438,9	443,7	448,4	457,6
9,452	9,891	10,3	10,68	11,04	11,39	12,05	60	24,27	423,7	429,4	434,8	439,9	444,9	449,8	459,3
8,333	8,757	9,149	9,515	9,852	10,18	10,79	65	27,01	423,7	429,8	435,4	440,8	446	451,1	460,8
7,337	7,758	8,13	8,482	8,803	9,116	9,69	70	29,97	423,4	429,9	435,9	441,5	447	452,2	462,2
6,447	6,863	7,231	7,564	7,874	8,163	8,711	75	33,18	422,7	429,7	436,1	442,1	447,7	453,1	463,5
5,647	6,068	6,427	6,752	7,047	7,326	7,843	80	36,64	421,5	429,3	436,1	442,4	448,3	454	464,7

D'après un document Climalife DEHON.

TABLE 3 CARACTERISTIQUES THERMODYNAMIQUES DU R 134a *ETAT SATURE*

Temp. °C	Pression		Masse volumique		Volume massique		Enthalpie		Chaleur vaporisation lv kj/kg
	absolue pa bar	effective pe bar	liquide ρ' kg/dm³	vapeur ρ'' kg/m³	liquide V' dm³/kg	vapeur V'' m³/kg	liquide h' kj/kg	vapeur h'' kj/kg	
-100	0,0056	-1,0074	1582	0,03969	0,632	25,195	75,36	336,9	261,5
-90	0,0152	-0,9978	1556	0,1024	0,643	9,76563	87,23	342,8	255,6
-80	0,0367	-0,9763	1529	0,2343	0,654	4,26803	99,16	348,8	249,6
-70	0,0798	-0,9332	1502	0,4857	0,666	2,05888	111,2	355	243,8
-65	0,1138	-0,8992	1488	0,6773	0,672	1,47645	117,3	358,2	240,9
-60	0,1591	-0,8539	1474	0,9268	0,678	1,07898	123,4	361,3	237,9
-55	0,2183	-0,7947	1460	1,246	0,685	0,80257	129,5	364,5	235
-50	0,2945	-0,7185	1446	1,65	0,692	0,60606	135,7	367,7	232
-45	0,3912	-0,6218	1432	2,152	0,698	0,46468	141,9	370,8	228,9
-40	0,5121	-0,5009	1418	2,769	0,705	0,36114	148,1	374	225,9
-35	0,6614	-0,3516	1403	3,521	0,713	0,28401	154,4	377,2	222,8
-30	0,8438	-0,1692	1388	4,426	0,72	0,22594	160,8	380,3	219,5
-26,08	1,013	0	1377	5,257	0,726	0,19022	165,8	382,8	217
-25	1,064	0,051	1373	5,506	0,728	0,18162	167,2	383,4	216,2
-20	1,327	0,314	1358	6,784	0,736	0,14741	173,6	386,6	213
-15	1,639	0,626	1343	8,287	0,745	0,12067	180,1	389,6	209,5
-10	2,006	0,993	1327	10,04	0,754	0,0996	186,7	329,7	206
-5	2,433	1,42	1311	12,08	0,763	0,08278	193,3	395,7	202,4
0	2,928	1,915	1295	14,43	0,772	0,0693	200	398,6	198,6
5	3,497	2,484	1278	17,13	0,782	0,05838	206,8	401,5	194,7
10	4,146	3,133	1261	20,23	0,793	0,04943	213,6	404,3	190,7
15	4,884	3,871	1243	23,76	0,805	0,04209	220,5	407,1	186,6
20	5,717	4,704	1225	27,78	0,816	0,036	227,5	407,7	182,2
25	6,654	5,641	1207	32,35	0,829	0,03091	234,5	412,3	177,8
30	7,702	6,689	1187	37,54	0,842	0,02664	241,7	414,8	173,1
35	8,87	7,857	1168	43,42	0,856	0,02303	249	417,2	168,2
40	10,17	9,157	1147	50,09	0,872	0,01996	256,4	419,4	163
45	11,6	10,587	1125	57,66	0,889	0,01734	263,9	421,5	157,6
50	13,18	12,167	1102	66,27	0,907	0,01509	271,6	423,4	151,8
55	14,92	13,907	1078	76,1	0,928	0,01314	279,5	425,2	145,7
60	16,82	15,807	1053	87,38	0,95	0,01144	287,5	426,6	139,1
65	18,9	17,887	1026	100,4	0,975	0,00996	295,8	427,8	132
70	21,17	20,157	996,2	115,6	1,004	0,00865	304,3	428,6	124,3
75	23,64	22,627	964,1	133,5	1,037	0,00749	313,1	429	115,9
80	26,33	25,317	928,2	155,1	1,077	0,00645	322,4	428,8	106,4
85	29,26	28,247	887,2	181,9	1,127	0,0055	332,2	427,8	95,6
90	32,44	31,427	837,8	216,8	1,194	0,00461	342,9	425,4	82,5

D'après un document Climalife DEHON.

Table 4 *CARACTERISTIQUES THERMODYNAMIQUES DU R134a* *Etat surchauffé*

Volume massique des vapeurs surchauffées(dm³/kg)							T° à sat. °C	P à sat. bar abs.	Enthalpie (Kj/kg)						
SURCHAUFFE (°C)									SURCHAUFFE (°C)						
5	10	15	20	25	30	40			5	10	15	20	25	30	40
25900	26631	27360	28090	28818	29551	31008	-100	0,056	339,8	342,9	346	349,1	352,3	355,5	362,2
10066	10337	10607	10875	11146	11414	11952	-90	0,0152	345,9	349	352,2	355,5	358,8	362,1	369
4384	4496	4608	4719	4831	4943	5168	-80	0,0367	352,1	355,3	358,6	362	365,4	368,9	375,9
2111	2164	2216	2268	2320	2371	2475	-70	0,0798	358,4	361,8	365,2	368,7	372,2	375,7	383
1514	1550	1587	1623	1660	1696	1769	-65	0,1138	361,6	365	368,5	372	375,6	379,2	386,6
1105	1132	1158	1184	1211	1237	1289	-60	0,1591	364,8	368,3	371,9	375,4	379,1	382,7	390,2
821,7	841	860,6	879,5	899,3	918,3	956	-55	0,2183	368	371,6	375,2	378,9	382,5	386,3	393,9
620,7	635,3	649,8	664	678,4	693	721,5	-50	0,2945	371,3	374,9	378,6	382,3	386	389,8	397,5
475,7	486,9	497,8	508,9	519,8	530,5	552,2	-45	0,3912	374,5	378,2	382	385,7	389,5	393,4	401,2
369,7	378,2	386,7	395,1	403,5	411,9	428,4	-40	0,5121	377,8	381,5	385,3	389,2	393,1	397	404,9
290,8	297,5	304,1	310,8	317,3	323,8	336,8	-35	0,6614	381	384,8	388,7	392,6	396,6	400,5	408,6
231,3	236,7	242	247,2	252,4	257,5	267,8	-30	0,8438	384,2	388,1	392,1	396,1	400,1	404,1	412,3
194,8	199,3	203,7	208,1	212,5	216,8	225,5	-26,08	1,013	386,7	390,7	394,7	398,8	402,8	406,9	415,2
186	190,3	194,5	198,7	202,9	207	215,3	-25	1,064	387,4	391,4	395,5	399,5	403,6	407,7	416
151	154,5	158	161,4	164,8	168,2	174,8	-20	1,327	390,6	394,7	398,8	402,9	407,1	411,2	419,7
123,7	126,6	129,4	132,2	135	137,8	143,3	-15	1,639	393,8	398	402,1	406,3	410,5	414,8	423,4
102,1	104,5	106,9	109,2	111,5	113,8	118,4	-10	2,006	396,9	401,2	405,4	409,7	414	418,3	427
84,89	86,96	88,97	90,91	92,85	94,79	98,62	-5	2,433	400	404,4	408,7	413,1	417,4	421,8	430,7
71,07	72,83	74,52	76,22	77,88	79,49	82,71	0	2,928	403,1	407,5	412	416,4	420,8	425,3	434,3
59,92	61,43	62,85	64,31	65,75	67,11	69,88	5	3,497	406,1	410,6	415,1	419,7	424,2	428,8	437,9
50,79	52,08	53,36	54,61	55,83	57,04	59,38	10	4,146	409	413,7	418,3	422,9	427,6	432,2	441,5
43,27	44,4	45,52	46,62	47,69	48,73	50,79	15	4,884	411,9	416,7	421,4	426,1	430,8	435,6	445,1
37,05	38,05	39,03	40	40,93	41,86	43,65	20	5,717	414,7	419,6	424,4	429,3	434,1	438,9	448,6
31,85	32,75	33,62	34,47	35,3	36,11	37,69	25	6,654	417,4	422,5	427,4	432,4	437,3	442,2	452
27,49	28,3	29,09	29,84	30,58	31,3	32,7	30	7,702	420,1	425,2	430,3	435,4	440,4	445,4	455,5
23,8	24,54	25,25	25,93	26,6	27,24	28,5	35	8,87	422,6	427,9	433,2	438,4	443,5	448,6	458,8
20,67	21,34	21,98	22,6	23,2	23,79	24,91	40	10,17	425	430,5	435,9	441,2	446,5	451,7	462,2
18	18,63	19,21	19,78	20,33	20,86	21,88	45	11,6	427,4	433	438,6	444	449,4	454,8	465,4
15,71	16,28	16,83	17,35	17,85	18,34	19,26	50	13,18	429,5	435,4	441,1	446,7	452,3	457,8	468,6
13,72	14,26	14,77	15,25	15,72	16,16	17,01	55	14,92	431,5	437,6	443,5	449,3	455	460,6	471,8
12	12,52	12,99	13,44	13,87	14,29	15,07	60	16,82	433,3	439,7	445,8	451,8	457,7	463,4	474,8
10,5	10,99	11,45	11,87	12,27	12,65	13,38	65	18,9	434,9	441,6	448	454,2	460,2	466,1	477,8
9,191	9,662	10,09	10,49	10,87	11,23	11,9	70	21,17	436,3	443,3	449,9	456,4	462,6	468,7	480,7
8,032	8,496	8,905	9,285	9,643	9,98	10,61	75	23,64	437,3	444,8	451,7	458,4	464,9	471,2	483,5
7,003	7,457	7,862	8,23	8,569	8,889	9,479	80	26,33	438	446	453,3	460,3	467	473,6	486,2
6,083	6,545	6,935	7,289	7,616	7,918	8,475	85	29,26	438,2	446,8	454,7	462	469	475,8	488,8
5,263	5,727	6,116	6,46	6,77	7,062	7,587	90	32,44	437,8	447,4	455,8	463,5	470,8	477,8	491,3

D'après un document Climalife DEHON.

Table 5	*CARACTERISTIQUES THERMODYNAMIQUES DU R 404A*								*Etat saturé*
	LIQUIDE				VAPEUR				
P. absolue bar	Temp.bulle t' °C	Vol.mass. v' dm³/kg	Masse vol. p' kg/m³	Enthalpie h' kj/kg	Temp.rosée t'' °C	Vol.mas. v'' m³/kg	Masse vol. p'' kg/m³	Enthalpie h'' kj/kg	Chaleur vaporisation lv kj/kg
0,313	-68,4	0,728	1373	113,0	-67,5	0,549	1,823	326,2	213,2
0,413	-63,7	0,736	1359	118,6	-62,8	0,423	2,363	329,1	210,5
0,513	-59,8	0,742	1348	123,2	-59,0	0,346	2,894	331,4	208,2
0,613	-56,5	0,747	1338	127,2	-55,7	0,292	3,42	33,5	206,3
0,713	-53,7	0,752	1330	130,7	-52,8	0,254	3,94	335,2	204,5
0,813	-51,1	0,756	1322	133,9	-50,3	0,224	4,456	336,8	202,9
0,913	-48,7	0,760	1315	136,7	-47,9	0,201	4,97	338,2	201,5
1,013	-46,6	0,765	1308	139,4	-45,8	0,182	5,48	339,5	200,1
1,113	-44,6	0,768	1302	141,8	-43,8	0,167	5,988	340,7	198,9
1,213	-42,7	0,772	1296	144,1	-42,0	0,154	6,494	341,8	197,7
1,313	-41,0	0,775	1291	146,3	-40,2	0,143	6,999	342,8	196,5
1,413	-39,4	0,778	1286	148,3	-38,6	0,133	7,501	343,8	195,5
1,513	-37,8	0,781	1281	150,3	-37,1	0,125	8,003	344,7	194,4
1,613	-36,3	0,784	1276	152,1	-35,6	0,118	8,503	345,6	193,5
1,713	-34,9	0,786	1272	153,9	-34,2	0,111	9,003	346,4	192,5
1,813	-33,6	0,789	1268	155,6	-32,9	0,105	9,501	347,2	191,6
1,913	-32,3	0,791	1264	157,2	-31,6	0,100	10	347,9	190,7
2,013	-31,1	0,794	1260	158,8	-30,4	0,095	10,5	348,7	189,9
2,513	-25,5	0,805	1242	165,9	-24,9	0,077	12,98	351,9	186,0
3,013	-20,8	0,816	1226	172,1	-20,2	0,065	15,45	354,5	182,4
3,513	-16,6	0,826	1211	177,6	-16,0	0,056	17,93	356,9	179,3
4,013	-12,9	0,835	1198	182,5	-12,3	0,049	20,42	358,9	176,4
4,513	-9,5	0,843	1186	187,1	-8,9	0,044	22,91	360,7	173,6
5,013	-6,3	0,851	1175	191,3	-5,7	0,039	25,42	362,4	171,1
5,513	-3,4	0,859	1164	195,3	-2,9	0,036	27,94	363,9	168,6
6,013	-0,7	0,867	1154	199,0	-0,2	0,033	30,48	365,2	166,2
6,513	1,9	0,874	1144	202,6	2,4	0,030	33,03	366,5	163,9
7,013	4,3	0,881	1135	205,9	4,8	0,028	35,61	367,6	161,7
7,513	6,5	0,888	1126	209,2	7,1	0,026	38,2	368,7	159,5
8,013	8,7	0,895	1117	212,2	9,2	0,024	40,83	369,7	157,5
8,513	10,8	0,903	1108	215,2	11,3	0,023	43,47	370,7	155,5
9,013	12,8	0,909	1100	218,1	13,3	0,022	46,14	371,5	153,4
9,513	14,7	0916	1092	220,8	15,2	0,020	48,84	372,4	151,6
10,013	16,5	0,923	1084	223,5	17,0	0,019	51,56	373,1	149,6
10,513	18,3	0,929	1076	226,1	18,7	0,018	54,31	373,8	147,7
11,013	20,0	0,935	1069	228,6	20,4	0,018	57,1	374,5	145,9
16,013	34,4	1,003	997,4	250,9	34,8	0,012	86,93	379,3	128,4
21,,013	45,8	1,076	929,8	269,9	46,1	0,008	121,6	381,2	111,3

D'après un document Climalife DEHON.

Table 6							**CARACTERISTIQUES THERMODYNAMIQUES DU R404A**									*Etat surchauffé*
Volume massique des vapeurs surchauffées(dm³/kg)							T° à sat. °C	P à sat. bar abs.	Enthalpie (Kj/kg)							
SURCHAUFFE (°C)									SURCHAUFFE (°C)							
5	10	15	20	25	30	40			5	10	15	20	25	30	40
5602	5764	5921	6079	6238	6398	6716	-100	0,027	309,5	312,6	315,8	319,1	322,4	325,8	332,6
3672	3775	3876	3978	4080	4181	4384	-95	0,0423	312,5	315,7	319	322,3	325,7	329,1	336,1
2482	2550	2617	2684	2751	2818	2952	-90	0,0642	315,6	318,9	322,2	325,6	329	332,5	339,6
1719	1764	1810	1856	1901	1947	2037	-85	0,095	318,7	322,1	325,4	328,9	332,4	335,9	343,1
1220	1252	1284	1315	1347	1379	1442	-80	0,137	321,8	325,3	328,7	332,2	335,7	339,3	346,7
883,4	905,8	928,5	951,5	973,7	997	1042	-75	0,1934	325	328,5	332	335,5	339,1	342,8	350,2
652,3	668,9	685,4	701,8	718,4	734,8	767,5	-70	0,2674	328,1	331,7	333,5	338,9	342,6	346,3	353,8
490,2	502,5	514,9	527,1	539,4	551,6	575,7	-65	0,3629	331,3	334,9	338,6	342,3	346	349,8	357,5
374,3	383,6	392,9	402,3	411,5	420,7	439	-60	0,4842	334,5	338,1	341,9	345,6	349,4	353,3	361,1
289,9	297,1	304,3	311,4	318,6	325,6	339,8	-55	0,636	337,6	341,4	345,2	349	352,9	356,8	364,7
227,5	233,2	238,8	244,4	250	255,6	266,5	-50	0,8233	340,7	344,6	348,5	352,4	356,3	360,3	368,4
187,2	191,9	196,6	201,2	205,8	210,3	219,3	-45,79	1,013	343,4	347,3	351,2	355,2	359,2	363,2	371,4
180,7	185,7	189,7	194,2	198,6	203	211,6	-45	1,052	343,9	347,8	351,7	355,7	359,7	363,8	372
145,2	148,8	152,5	156	159,6	163,1	170,1	-40	1,327	347	351	355	359,1	363,2	367,3	375,6
117,7	120,7	123,7	126,6	129,5	132,4	138	-35	1,656	350	354,1	358,2	362,4	366,6	370,8	379,2
96,34	98,81	101,3	103,7	106,1	108,5	113,1	-30	2,045	353,1	357,3	361,5	365,7	369,9	374,2	382,9
79,55	81,63	83,68	85,69	87,72	89,69	93,55	-25	2,5	356,1	360,4	364,7	369	373,3	377,7	386,5
66,18	67,93	69,64	71,38	73,05	74,68	77,94	-20	3,03	359	363,4	367,8	372,2	376,6	381,1	390
55,4	56,92	58,41	59,84	61,27	62,7	65,45	-15	3,641	361,9	366,4	370,9	375,4	379,9	384,5	393,6
46,69	48,01	49,29	50,53	51,76	52,97	55,34	-10	4,341	364,7	369,4	374	378,6	383,2	387,8	397,1
39,57	40,7	41,82	42,9	43,98	45,02	47,06	-5	5,139	367,5	372,3	377	381,7	386,4	391,1	400,6
33,7	34,71	35,69	36,64	37,58	38,49	40,27	0	6,042	370,2	375,1	379,9	384,7	389,6	394,4	404
28,83	29,73	30,59	31,44	32,27	33,07	34,64	5	7,06	372,8	377,8	382,8	387,7	392,7	397,6	407,4
24,76	25,57	26,34	27,1	27,83	28,55	29,94	10	8,2	375,3	380,5	385,6	390,7	395,7	400,8	410,8
21,34	22,07	22,77	23,45	24,11	24,75	25,98	15	9,474	377,7	383,1	388,3	393,5	398,7	403,8	414,1
18,44	19,11	19,75	20,36	29,96	21,54	22,64	20	10,89	380	385,5	390,9	396,3	401,6	406,9	417,4
15,96	16,59	17,17	17,74	18,28	18,8	19,81	25	12,46	382,1	387,8	393,4	399	404,4	409,8	420,5
13,85	14,43	14,98	15,5	15,99	16,47	17,64	30	14,19	384,1	390	395,8	401,5	407,1	412,7	423,6
12,04	12,58	13,09	13,58	14,04	14,47	15,31	35	16,09	385,8	392,1	398,1	404	409,8	415,5	426,7
10,46	10,98	11,46	11,91	12,34	12,77	13,52	40	18,18	387,3	393,9	400,2	406,3	412,3	418,3	429,7
9,083	9,588	10,04	10,47	10,83	11,25	11,96	45	20,47	388,6	395,5	402,1	408,5	414,8	420,7	432,6
7,868	8,361	8,803	9,218	9,588	9,94	10,6	50	22,98	389,5	396,9	403,9	410,7	416,9	432,2	435,4
6,803	7,294	7,684	8,11	8,467	8,803	9,416	55	25,72	390	398	405,7	412,3	419	425,5	438
5,855	6,235	6,77	7,143	7,485	7,8	8,382	60	28,71	389,9	398,5	406,6	414	420,9	427,7	440,6
4,807	5,513	5,931	6,293	6,618	6,92	7,468	65	31,99	389,5	399,1	407,6	415,4	422,7	429,7	443

D'après un document Climalife DEHON

Table 7 — CARACTERISTIQUES THERMODYNAMIQUES DU R 410A — *Etat saturé*

Pression absolue bar	LIQUIDE Temp.bulle t' °C	Vol. mass. v' dm³/kg	Masse vol. p' kg/m³	Enthalpie h' kj/kg	VAPEUR Temp. rosée t″ °C	Vol. mass. v″ m³/kg	Masse vol. p″ kg/m³	Enthalpie h″ kj/kg	Chaleur vaporisation lv kj/kg
0,313	-72,3	0,707	1414	99,2	-72,3	0,7205	1,388	386,9	287,7
0,413	-67,8	0,714	1401	105,1	-67,8	0,5559	1,799	389,5	284,4
0,513	-64,2	0,719	1390	110,0	-64,1	0,4537	2,204	391,5	281,5
0,613	-61,0	0,725	1380	114,2	-61,0	0,3840	2,604	393,2	279,0
0,713	-58,3	0,729	1372	117,8	-58,3	0,3332	3,001	394,7	276,9
0,813	-55,9	0,733	1364	121,1	-55,8	0,2946	3,394	396,1	275,0
0,913	-53,6	0,737	1357	124,1	-53,6	0,2642	3,785	397,3	273,2
1,013	-51,6	0,740	1351	126,8	-51,6	0,2396	4,173	398,3	271,5
1,113	-49,7	0,743	1345	129,4	-49,7	0,2193	4,56	399,3	269,9
1,213	-48,0	0,746	1340	131,7	-47,9	0,2023	4,944	400,2	268,5
1,313	-46,3	0,750	1334	134,0	-46,3	0,1877	5,328	401,1	267,1
1,413	-44,8	0,752	1329	136,1	-44,8	0,1751	5,71	401,9	265,8
1,513	-43,3	0,755	1325	138,1	-43,3	0,1642	6,091	402,6	264,5
1,613	-42,0	0,758	1320	140,0	-41,9	0,1545	6,471	403,3	263,3
1,713	-40,6	0,760	1316	141,8	-40,6	0,1460	6,85	404	262,2
1,813	-39,4	0,762	1312	143,5	-39,3	0,1383	7,229	404,6	261,1
1,913	-38,2	0,765	1308	145,2	-38,1	0,1315	7,607	405,2	260,0
2,013	-37,0	0,767	1304	146,8	-37,0	0,1253	7,984	405,8	259,0
2,513	-31,8	0,777	1287	154,0	-31,8	0,1014	9,862	408,2	254,2
3,013	-27,4	0,786	1272	160,2	-27,3	0,0853	11,73	410,3	250,1
3,513	-23,5	0,795	1258	165,7	-23,4	0,0735	13,6	412	246,3
4,013	-20,0	0,803	1246	170,7	-19,9	0,0646	15,47	242,8	242,8
4,513	-16,8	0,810	1235	175,3	-16,7	0,0576	17,35	414,9	239,6
5,013	-13,9	0,817	1224	179,5	-13,8	0,0520	19,22	416	236,5
5,513	-11,2	0,824	1214	183,4	-11,1	0,0474	21,11	417,1	233,7
6,013	-8,6	0,830	1205	187,1	-8,6	0,0435	23	418	230,9
6,513	-6,3	0,836	1196	190,6	-6,2	0,0402	24,9	418,9	228,3
7,013	-4,0	0,842	1187	193,9	-4,0	0,0373	26,81	419,6	225,7
7,513	-1,9	0,848	1179	197,1	-1,8	0,0348	28,73	420,3	223,2
8,013	0,09	0,854	1171	200,1	0,2	0,0326	30,66	421	220,9
8,513	2,0	0,860	1163	203,0	2,1	0,0307	32,6	421,6	218,6
9,013	3,8	0,865	1156	205,8	3,9	0,0289	34,56	422,1	216,3
9,513	5,6	0,871	1148	208,5	5,7	0,0274	36,53	422,6	214,1
10,013	7,3	0,876	1141	211,1	7,4	0,0260	38,51	423	211,9
10,513	8,9	0,882	1134	213,7	9	0,0247	40,51	423,4	207,7
11,013	10,5	0,887	1128	216,1	10,6	0,0235	42,53	423,8	207,7
16,013	23,8	0,937	1067	237,6	24	0,0157	63,61	426	188,4
21,,013	34,3	0,988	1012	255,5	34,4	0,0115	86,85	426,2	170,7

D'après un document Climalife DEHON.

Table 8	CARACTERISTIQUES THERMODYNAMIQUES DU R410A														*Etat surchauffé*
Volume massique des vapeurs surchauffées(dm³/kg)							T° à sat. °C	P à sat. bar abs.	Enthalpie (Kj/kg)						
SURCHAUFFE (°C)									SURCHAUFFE (°C)						
5	10	15	20	25	30	40			5	10	15	20	25	30	40
5305	5459	5609	5760	5910	6061	6361	-100	0,0383	309,5	312,6	315,8	319,1	322,4	325,8	332,6
2403	2469	2535	2601	2666	2731	2862	-90	0,089	312,5	315,7	319	322,3	325,7	329,1	336,1
1199	1231	1263	1294	1326	1357	1420	-80	0,1869	315,6	318,9	322,2	325,6	329	332,5	339,6
648,1	664,9	682,1	698,8	715,3	731,5	764,5	-70	0,3606	318,7	322,1	325,4	328,9	332,4	335,9	343,1
489	501,8	514,4	526,9	539,1	552	576	-65	0,4872	321,8	325,3	328,7	332,2	335,7	339,3	346,7
374,5	384,2	393,9	403,4	412,7	422	440,7	-60	0,6477	325	328,5	332	335,5	339,1	342,8	350,2
290,9	298,4	305,8	313,2	320,4	328	342	-55	0,8481	328,1	331,7	333,5	338,9	342,6	346,3	353,8
246,1	252,5	258,8	265	271,2	277,3	289,4	-51,55	1,013	331,3	334,9	338,6	342,3	346	349,8	357,5
228,8	234,7	240,6	246,4	252,1	257,7	269	-50	1,095	334,5	338,1	341,9	345,6	349,4	353,3	361,1
182	186,8	191,4	196	200,6	205,1	214	-45	1,396	337,6	341,4	345,2	349	352,9	356,8	364,7
146,3	150,2	153,9	157,7	161,3	165	172,1	-40	1,759	340,7	344,6	348,5	352,4	356,3	360,3	368,4
118,8	122	125,1	128,1	131,1	134,1	139,9	-35	2,191	343,4	347,3	351,2	355,2	359,2	363,2	371,4
97,28	100	102,5	105,1	107,5	110	114,8	-30	2,702	343,9	347,8	351,7	355,7	359,7	363,8	372
80,32	82,58	84,75	86,81	88,89	90,99	94,97	-25	3,301	347	351	355	359,1	363,2	367,3	375,6
66,8	68,68	70,52	72,31	74,07	75,82	79,18	-20	3,998	350	354,1	358,2	362,4	366,6	370,8	379,2
55,93	57,57	59,14	60,64	62,15	63,61	66,49	-15	4,802	353,1	357,3	361,5	365,7	369,9	374,2	382,9
47,13	48,52	49,88	51,2	52,49	53,73	56,21	-10	5,724	356,1	360,4	364,7	369	373,3	377,7	386,5
39,9	41,14	42,32	43,46	44,58	45,66	47,8	-5	6,775	359	363,4	367,8	372,2	376,6	381,1	390
33,94	35,04	36,08	37,08	38,07	39,02	40,88	0	7,967	361,9	366,4	370,9	375,4	379,9	384,5	393,6
29,01	29,98	30,9	31,8	32,66	33,5	34,14	5	9,311	364,7	369,4	374	378,6	383,2	387,8	397,1
24,88	25,75	26,58	27,37	28,15	28,9	30,34	10	10,82	367,5	372,3	377	381,7	386,4	391,1	400,6
21,4	22,19	22,94	23,66	24,35	25,02	26,31	15	12,51	370,2	375,1	379,9	384,7	389,6	394,4	404
18,47	19,2	19,88	20,53	21,16	21,76	22,92	20	14,38	372,8	377,8	382,8	387,7	392,7	397,6	407,4
15,96	16,63	17,26	17,86	18,43	18,97	20,02	25	16,47	375,3	380,5	385,6	390,7	395,7	400,8	410,8
13,83	14,45	15,03	15,58	16,1	16,6	17,55	30	18,77	377,7	383,1	388,3	393,5	398,7	403,8	414,1
11,98	12,57	13,11	13,62	14,1	14,56	15,43	35	21,31	380	385,5	390,9	396,3	401,6	406,9	417,4
13,39	10,95	11,46	11,94	12,38	12,81	13,61	40	24,1	382,1	387,8	393,4	399	404,4	409,8	420,5
9,001	9,542	10,02	10,47	10,89	11,29	12,03	45	27,17	384,1	390	395,8	401,5	407,1	412,7	423,6
7,782	8,313	8,772	9,2	9,588	9,96	10,65	50	30,53	385,8	392,1	398,1	404	409,8	415,5	426,7
6,707	7,231	7,68	8,084	8,453	8,803	9,443	55	34,22	387,3	393,9	400,2	406,3	412,3	418,3	429,7
5,76	6,285	6,72	7,107	7,463	7,788	8,389	60	38,25	388,6	395,5	402,1	408,5	414,8	420,7	432,6
4,909	5,444	5,875	6,25	6,588	6,897	7,457	65	42,68	389,5	396,9	403,9	410,7	416,9	432,2	435,4
4,593	5,133	5,565	5,931	6,262	6,566	7,117	67	44,58	390	398	405,7	412,3	419	425,5	438

D'après un document Climalife DEHON.

TABLE 9 CARACTERISTIQUES THERMODYNAMIQUES DU R507 *ETAT SATURE*

Temp. °C	Pression		Masse volumique		Volume massique		Enthalpie		Chaleur vaporisation lv kj/kg
	absolue pa bar	effective pe bar	liquide ρ' kg/m³	vapeur ρ'' kg/m³	liquide V' dm³/kg	vapeur V'' m³/kg	liquide h' kj/kg	vapeur h'' kj/kg	
-100	0,031	-0,982	1471	0,2146	0,680	4,6598	77,29	303,1	225,81
-90	0,072	-0,941	1444	0,4726	0,693	2,1160	88,55	309	220,45
-85	0,106	-0,907	1430	0,6754	0,699	1,4806	94,26	312,1	217,84
-80	0,152	-0,861	1416	0,9441	0,706	1,0592	100	315,1	215,1
-75	0212	-0,801	1402	1,293	0,713	0,7734	105,8	318,2	212,4
-70	0,292	-0,721	1387	1,74	0,721	0,5747	111,7	321,2	209,5
-65	0,393	-0,620	1373	2,302	0,728	0,4344	117,6	324,3	206,7
-60	0,522	-0,491	1358	2,999	0,736	0,3334	123,5	327,3	203,8
-55	0,683	-0,33	1343	3,855	0,745	0,2594	129,5	330,4	200,9
-50	0,880	-0,133	1328	4,892	0,753	0,2044	135,6	333,4	197,8
-47,11	1,013	0	1319	5,585	0,758	0,1791	139,1	335,2	196,1
-45	1,120	0,107	1312	6,137	0,762	0,1629	141,7	336,4	194,7
-40	1,408	0,395	1297	7,618	0,771	0,1313	147,9	339,4	191,5
-35	1,752	0,739	1281	9,366	0,781	0,1068	154,1	342,3	188,2
-30	2,157	1,144	1264	11,42	0,791	0,0876	160,4	345,3	184,9
-25	2,631	1,144	1248	13,8	0,801	0,0725	166,8	348,1	181,3
-20	3,180	2,167	1231	16,57	0,812	0,0604	173,3	350,9	177,6
-15	3,813	2,8	1213	19,77	0,824	0,0506	179,8	353,7	173,9
-10	4,537	3,524	1195	23,44	0,837	0,0427	186,4	356,4	170
-5	5,361	4,348	1176	27,65	0,850	0,0362	193,2	359	165,8
0	6,293	5,28	1157	32,46	0,864	0,0308	200	361,5	161,5
5	7,340	6,327	1138	37,95	0,879	0,0264	206,9	363,9	157
10	8,514	7,501	1117	44,23	0,895	0,0226	214	366,2	152,2
15	9,822	8,809	1095	51,39	0,913	0,0195	221,2	368,4	147,2
20	11,27	10,257	1073	59,58	0,932	0,0168	228,5	370,4	141,9
25	12,88	11,867	1049	68,98	0,953	0,0145	236	372,2	136,2
30	14,65	13,637	1024	79,8	0,977	0,0125	243,7	373,9	130,2
35	16,60	15,587	996,5	92,34	1,004	0,0108	251,7	375,2	123,5
40	18,74	17,727	967,2	107	1,034	0,0093	259,8	376,2	116,4
45	21,09	20,077	935,2	124,4	1,069	0,0080	268,3	376,8	108,5
50	23,65	22,637	899,4	145,4	1,112	0,0069	277,2	376,8	99,6
55	26,44	25,427	858,3	171,6	1,165	0,0058	286,7	376,1	89,4
60	29,50	28,487	808,9	206	1,236	0,0049	297	374	77
65	32,85	31,837	743	256,5	1,346	0,0039	309	369,6	60,6

D'après un document Climalife DEHON.

Table 10 CARACTERISTIQUES THERMODYNAMIQUES DU R507 *Etat surchauffé*

Volume massique des vapeurs surchauffées(dm³/kg)							T° à sat. °C	P à sat. bar abs.	Enthalpie (Kj/kg)						
SURCHAUFFE (°C)									SURCHAUFFE (°C)						
5	10	15	20	25	30	40			5	10	15	20	25	30	40
4817	4953	5092	5227	5365	5501	5774	-100	0,031	306,1	309,3	312,5	315,7	319	322,4	329,2
2184	2243	2303	2362	2421	2480	2598	-90	0,072	312,3	315,5	318,8	322,2	325,6	329,1	336,1
1520	1560	1601	1641	1682	1722	1802	-85	0,106	315,4	318,7	322,1	325,5	329	332,5	339,7
1084	1113	1141	1170	1198	1226	1282	-80	0,152	318,5	321,9	325,3	328,8	332,3	335,9	343,2
794,9	815	834,5	856,2	876,4	896,9	937,2	-75	0212	321,6	325	328,5	332,1	335,7	339,3	346,7
588,9	604,2	619,2	634,1	648,9	664	693,5	-70	0,292	324,7	328,2	331,8	335,4	339,1	342,8	350,3
446,2	457,7	468,8	480,1	491,2	502,5	524,7	-65	0,393	327,8	331,4	335,1	338,8	342,5	346,3	353,9
342,1	350,8	359,3	367,9	376,4	384,9	401,8	-60	0,522	331	334,7	338,4	342,1	345,9	349,7	357,5
266	272,7	279,3	286	292,5	299	312	-55	0,683	334,1	337,8	341,6	345,5	349,3	353,2	361,1
209,7	215	220,2	225,4	230,6	235,7	245,9	-50	0,880	337,2	341	344,9	348,8	352,7	356,7	364,7
183,8	188,4	193	197,5	202	206,5	215,4	-47,11	1,013	339	342,9	346,8	350,7	354,7	358,7	366,8
167,2	171,4	175,6	179,7	183,9	187,9	196	-45	1,120	340,3	344,2	348,2	352,1	356,1	360,2	368,3
134,7	138,2	141,6	144,9	148,2	151,5	158	-40	1,408	343,4	347,4	351,4	355,4	359,5	363,6	371,9
109,6	112,4	115,2	117,9	120,6	1233,3	128,6	-35	1,752	346,4	350,5	354,6	358,7	362,9	367,1	375,5
89,93	92,25	94,61	96,81	99,11	101,3	105,7	-30	2,157	349,4	353,6	357,8	362	366,2	370,5	379,1
74,4	76,34	78,31	80,19	82,03	83,89	87,57	-25	2,631	352,4	356,7	361	365,3	369,6	373,9	382,7
62	63,69	65,32	66,93	68,54	70,08	73,15	-20	3,180	355,3	359,7	364,1	368,5	372,9	377,3	386,2
52,03	53,45	54,85	56,24	57,6	58,93	61,54	-15	3,813	358,2	362,7	367,2	371,7	376,2	380,7	389,8
43,92	45,17	46,38	47,57	48,73	49,88	52,14	-10	4,537	361	365,6	370,2	374,8	379,4	384	393,2
37,26	38,36	39,42	40,45	41,48	42,48	44,42	-5	5,361	363,7	368,5	373,2	377,9	382,6	387,3	396,7
31,78	32,74	33,68	34,59	35,49	36,36	38,05	0	6,293	366,4	371,2	376,1	380,9	385,7	390,5	400,1
27,22	28,08	28,92	29,73	30,52	31,29	32,79	5	7,340	369	374	378,9	383,9	388,8	393,7	403,5
23,4	24,17	24,93	25,65	26,35	27,04	28,37	10	8,514	371,4	376,6	381,7	386,8	391,8	396,8	406,8
20,18	20,89	21,57	22,22	22,85	23,47	24,65	15	9,822	373,8	379,1	384,4	389,6	394,8	399,9	410,1
17,46	18,11	18,73	19,32	19,9	20,45	21,52	20	11,27	376	381,6	387	392,3	397,6	402,9	413,3
15,13	15,73	16,3	16,84	17,37	17,87	18,84	25	12,88	378,1	383,9	389,5	395	400,4	405,8	416,5
13,13	13,69	14,22	14,73	15,21	15,67	16,55	30	14,65	380	386	391,8	397,5	403,1	408,7	419,6
11,4	11,94	12,44	12,90	13,35	13,78	14,58	35	16,60	381,7	388	394	399,9	405,7	411,4	422,6
9,901	10,42	10,89	11,33	11,74	12,14	12,88	40	18,74	383,2	389,8	396,1	402,2	408,2	414,1	425,6
8,591	9,091	9,542	9,950	10,34	10,71	11,4	45	21,09	384,3	391,4	398	404,4	410,5	416,6	428,4
7,446	7,93	8,368	8,764	9,132	9,479	10,12	50	23,65	385,2	392,7	399,7	406,3	412,8	419	431,2
6,431	6,92	7,342	7,722	8,071	8,396	9,001	55	26,44	385,6	393,7	401,2	408,2	414,9	421,3	433,9
5,525	6,02	6,435	6,803	7,138	7,446	8,013	60	29,50	385,4	394,4	402,4	409,7	416,7	423,5	436,4
4,675	5,189	5,605	5,963	6,281	6,575	7,107	65	32,85	385	394,4	403,1	410,9	418,3	425,3	438,7

D'après un document Climalife DEHON.

TABLE 11	CARACTERISTIQUES THERMODYNAMIQUES DU R 717									*ETAT SATURE*
Température °C	Pression		Volume massique		Masse volumique		Enthalpie			Chaleur vaporisation lv kj/kg
	absolue pa bar	effective pe bar	liquide V' dm³/kg	vapeur V'' m³/kg	liquide ρ' kg/m³	vapeur ρ'' kg/m³	liquide h' kj/kg	vapeur h'' kj/kg		
-70	0,1094	-0,9036	1,38	9,008	724,7	0,1110	189,2	1656		1466,8
-65	0,1562	0,9568	1,39	6,452	719,2	0,1550	210,5	1665		1454,5
-60	0,2189	0,7941	1,40	4,706	713,6	0,2125	231,9	1674		1442,1
-55	0,3014	0,7116	1,41	3,490	707,9	0,2866	253,5	1683		1429,5
-50	0,4084	0,6046	1,42	2,628	702,1	0,3806	275,3	1691		1415,7
-45	0,5449	0,4681	1,44	2,007	696,2	0,4982	297,2	1700		1402,8
-40	0,7169	0,2961	1,45	1,553	690,2	0,6438	319,2	1708		1388,8
-35	0,9310	0,082	1,46	1,217	684,0	0,8218	341,3	1716		1374,7
-33,3	1,01	0	1,47	1,12	682	0,89	348,8	1718		1369,2
-30	1,194	0,181	1,48	0,964	677,8	1,037	363,6	1723		1359,4
-25	1,515	0,502	1,49	0,7717	671,5	1,296	386	1731		1345,0
-20	1,901	0,888	1,50	0,6237	665,1	1,603	408,6	1738		1329,4
-15	2,362	1,349	1,52	0,5087	658,6	1,966	431,2	1744		1312,8
-10	2,907	1,894	1,53	0,4183	652,1	2,391	454	1751		1297,0
-5	3,548	2,535	1,55	0,3466	645,4	2,885	476,9	1757		1280,1
0	4,294	3,281	1,57	0,2893	638,6	3,457	500	1762		1262,0
5	5,157	4,144	1,58	0,2430	631,7	4,115	523,2	1767		1243,8
10	6,150	5,137	1,60	0,2054	624,6	4,868	546,6	1772		1225,4
15	7,285	6,272	1,62	0,1746	617,5	5,527	570,1	1776		1205,9
20	8,575	7,562	1,64	0,1492	610,2	6,703	593,8	1780		1186,2
25	10,03	9,017	1,66	0,1281	602,8	7,807	617,7	1783		1165,3
30	11,67	10,657	1,68	0,1105	595,2	9,053	641,8	1786		1144,2
35	13,51	12,497	1,70	0,09563	587,4	10,46	666,1	1788		1121,9
40	15,55	14,537	1,73	0,08310	579,4	12,03	690,6	1790		1099,4
45	17,83	16,817	1,75	0,07245	571,3	13,80	715,5	1791		1075,5
50	20,34	19,327	1,78	0,06335	562,9	15,79	740,6	1791		1050,4
55	23,11	22,097	1,80	0,05554	554,2	18,01	766,1	1791		1024,9
60	26,16	25,147	1,83	0,04880	545,2	20,49	792	1789		997
65	29,49	28,477	1,87	0,04296	536	23,28	818,3	1787		968,7
70	33,13	32,117	1,90	0,03787	526,3	26,41	845	1784		939
75	37,10	36,087	1,94	0,03342	516,2	29,92	872,4	1780		907,6
80	41,42	40,407	1,98	0,02951	505,7	33,89	900,3	1774		873,7
85	46,10	45,087	2,02	0,02606	494,5	38,38	929	1768		839
90	51,17	50,157	2,07	0,02300	482,8	43,48	958,6	1759		800,4
95	56,64	55,627	2,13	0,02027	470,2	49,34	989,2	1749		759,8
100	62,55	61,537	2,19	0,01782	456,6	56,12	1021	1737		716

D'après un document Climalife DEHON.

Table 12 CARACTERISTIQUES THERMODYNAMIQUES DU R717 *Etat surchauffé*

Volume massique des vapeurs surchauffées(dm3/kg)							T° à sat. °C	P à sat. bar abs.	Enthalpie (Kj/kg)						
SURCHAUFFE (°C)									SURCHAUFFE (°C)						
5	10	15	20	25	30	40			5	10	15	20	25	30	40
9235	9463	9691	9918	10140	10370	10820	-70	0,11	1667	1677	1687	1697	1708	1718	1738
4818	4933	5048	5163	5277	5391	5618	-60	0,22	1685	1695	1706	1716	1726	1737	1757
2688	2751	2813	2875	2937	2999	3122	-50	0,41	1702	1713	1723	1734	1745	1755	1776
1588	1625	1661	1696	1732	1768	1839	-40	0,72	1719	1730	1741	1751	1762	1773	1795
1244	1272	1300	1328	1356	1384	1439	-35	0,93	1727	1738	1749	1760	1771	1782	1803
1186	1213	1240	1267	1293	1320	1372	-34	0,98	1728	1739	1750	1761	1772	1783	1805
1132	1157	1183	1209	1234	1259	1309	-33	1,03	1730	1741	1752	1763	1774	1785	1807
985,3	1008	1030	1052	1074	1096	1139	-30	1,19	1734	1746	1757	1768	1779	1790	1812
788,7	806,7	824,4	842,1	859,5	876,9	911,3	-25	1,52	1742	1753	1765	1776	1787	1799	1821
637,5	652,1	666,4	680,7	694,7	708,7	736,4	-20	1,90	1749	1760	1772	1784	1795	1807	1829
520,0	531,9	543,6	555,2	566,7	578,1	600,7	-15	2,36	1755	1768	1779	1791	1803	1814	1837
427,7	437,6	447,3	456,8	466,3	475,7	494,2	-10	2,91	1762	1774	1786	1798	1810	1822	1845
354,6	362,8	370,9	378,8	386,7	394,5	409,9	-5	3,55	1768	1781	1793	1805	1817	1829	1853
296,1	303,0	309,8	316,5	323,1	329,6	342,5	0	4,29	1774	1787	1799	1812	1824	1837	1861
-248,9	254,8	260,5	266,2	271,8	277,4	288,2	5	5,16	1779	1793	1806	1818	1831	1843	1868
210,5	215,6	220,5	225,4	230,2	234,9	244,1	10	6,15	1784	1798	1811	1824	1837	1850	1875
179,1	183,5	187,7	191,9	196	200,1	208,1	15	7,28	1789	1803	1817	1830	1843	1856	1882
153,2	157,0	160,7	164,4	167,9	171,4	178,3	20	8,57	1793	1808	1822	1835	1849	1862	1888
131,7	135,0	138,3	141,5	144,6	147,6	153,6	25	10,03	1797	1812	1826	1840	1854	1868	1894
113,7	116,7	119,6	122,4	125,1	127,8	133,0	30	11,67	1801	1816	1831	1845	1859	1873	1900
98,64	101,3	103;8	106,3	108,7	111,1	115,7	35	13,50	1804	1819	1834	1849	1864	1878	1906
85,88	88,23	90,50	92,71	94,87	96,97	101,1	40	15,55	1806	1822	1838	1853	1868	1882	1911
75,04	77,15	79,19	81,18	83,11	85,00	88,65	45	17,82	1808	1825	1841	1856	1872	1887	1916
65,78	67,69	69,54	71,33	73,07	74,77	78,04	50	20,33	1810	1827	1843	1859	1875	1890	1920
57,83	59,58	61,25	62,88	64,45	65,99	68,95	55	23,10	1810	1828	1845	1862	1878	1894	1924
50,97	52,57	54,11	55,59	57,03	58,42	61,11	60	26,14	1811	1829	1847	1864	1881	1897	1928
45,03	46,51	47,92	49,28	50,60	51,87	54,32	65	29,48	1810	1829	1848	1866	1883	1899	1931
39,86	41,24	42,54	43,80	45,00	46,17	48,41	70	33,12	1809	1829	1848	1866	1884	1901	1934
35,35	36,63	37,84	39,00	40,12	41,20	43,26	75	37,08	1807	1828	1848	1867	1885	1903	1937
31,38	32,58	33,72	34,80	35,84	36,84	38,74	80	41,40	1804	1826	1847	1867	1886	1904	1939
27,88	29,02	30,09	31,11	32,07	33,00	34,77	85	46,08	1800	1824	1845	1866	1885	1904	1940
24,78	25,87	26,88	27,84	28,75	29,62	31,26	90	51,14	1796	1820	1843	1864	1884	1904	1941
22,02	23,07	24,04	24,95	25,80	26,62	28,16	95	56,62	1789	1815	1839	1862	1883	1903	1941
19,56	20,58	21,50	22,37	23,18	25,95	25,40	100	62,52	1782	1809	1835	1858	1880	1902	1941
15,34	16,33	17,21	18,01	18,75	19,45	20,74	110	75,75	1761	1793	1822	1849	1873	1896	1939

D'après un document Climalife DEHON.

TABLE 13 — **CARACTERISTIQUES THERMODYNAMIQUES DU R 744** — *Etat saturé*

T° °C	Pression absolue pa bar	Pression effective pe bar	Masse volumique liquide ρ' kg/m³	Masse volumique vapeur ρ'' kg/m³	Volume massique liquide V' dm³/kg	Volume massique vapeur V'' m³/kg	Enthalpie liquide h' kj/kg	Enthalpie vapeur h'' kj/kg	Chaleur vaporisation lv kj/kg
-50	6,8234	5,8104	1154,6	17,925	0,86613	0,055789	92,9	432,68	339,7
-49	7,114	6,101	1150,25	18,665	0,86976	0,053576	95,59	433,48	337,91
-48	7,400	6,387	1146,50	19,3911	0,87221	0,05157	97,57	433,76	336,19
-47	7,704	6,691	1142,70	20,1623	0,8751	0,04959	99,57	434,2	334,46
-46	8,007	6,977	1138,90	20,9336	0,8780	0,04770	101,56	434,13	332,72
-45	8,3184	7,3054	1135,8	21,717	0,88046	0,046046	102,9	434,28	331,3
-44	8,650	7,637	1131,30	22,568	0,88393	0,04431	105,55	434,76	3329,21
-43	8,990	7,977	1127,45	23,437	0,88695	0,04266	107,39	434,98	327,59
-42	9,331	8,318	1123,60	24,307	0,88999	0,04114	108,23	435,20	326,97
-41	9,691	8,678	1119,70	25,228	0,89573	0,03963	110,07	435,40	325,33
-40	10,045	9,032	1115,80	26,121	0,8962	0,038284	112,9	435,59	322,4
-39	10,431	9,418	1111,85	27,128	0,89940	0,03686	115,58	435,92	320,35
-38	10,811	9,798	1107,90	28,105	0,9002	0,03558	117,59	436,25	318,66
-37	11,212	10,182	1103,9	29,135	0,9058	0,03422	119,61	436,38	316,77
-36	11,612	10,599	1099,90	30,1659	0,9120	0,03315	121,63	436,51	314,88
-35	12,024	11,011	1095,85	31,216	0,9125	0,032035	123,1	436,23	313,2
-34	12,457	11,444	1091,80	32,362	0,9159	0,03090	125,69	436,51	310,82
-33	12,902	11,889	1087,70	33,524	0,9193	0,02982	127,73	436,62	309,62
-32	13,347	12,334	1083,60	34,686	0,9228	0,02883	129,76	436,72	306,96
-31	13,815	12,802	1079,45	35,909	0,9263	0,02784	131,81	436,80	304,99
-30	14,278	13,265	1075,30	37,098	0,9299	0,026956	133,3	436,82	303,5
-29	14,767	13,754	1071,10	38,417	0,9336	0,02603	135,91	436,93	301,02
-28	15,265	14,252	1066,90	39,745	0,9372	0,02516	137,97	436,97	299,00
-27	15,774	14,761	1062,60	41,101	0,9410	0,02433	140,05	437,00	296,95
-26	16,296	15,283	1058,30	42,498	0,9449	0,02353	142,12	437,01	288,9
-25	16,827	15,814	1054,2	43,88	0,9486	0,022789	143,8	437,06	293,3
-20	19,696	18,683	1031,7	51,7	0,96931	0,019343	154,5	436,89	282,4
-15	22,908	21,895	1008	60,728	0,99208	0,016467	165,3	436,27	270,9
-10	26,487	25,474	982,93	71,185	1,0174	0,014048	176,5	435,14	258,6
-5	30,459	29,446	956,21	83,359	1,0458	0,011996	188,1	433,38	245,3
0	34,851	33,838	927,43	97,647	1,0782	0,010241	200,0	430,89	230,9
5	39,695	38,682	896,03	114,62	1,116	0,0087244	212,5	427,48	215,0
10	45,022	44,009	861,12	135,16	1,1613	0,0073988	225,7	422,88	197,2
15	50,871	49,858	821,21	160,73	1,2177	0,0062216	240,0	416,64	176,7
20	57,291	56,258	773,39	194,2	1,293	0,0051493	255,9	407,87	152,0
25	64,342	63,329	710,5	242,73	1,4075	0,0041198	274,8	394,43	119,6
30	72,137	71,124	593,31	345,1	1,6855	0,0028977	304,6	365,13	60,6

Table
5
0,057534
0,047529
0,039561
0,033151
0,027941
0,023673
0,020144
0,017204
0,014735
0,012648
0,010869
0,009342
0,008023
0,006874
0,005866
0,004974
0,004179
437,4
439,03
440,43
441,56
442,42
442,96
443,16
442,98
442,36
441,25
439,59
437,26
434,16
430,13
424,96
418,37
409,97

Table 14 Caractéristiques thermodynamiques du R744. Etat surchauffé

SURCHAUFFE (°C)							T° à sat. °C	P à sat. bar abs.
5	10	15	20	25	30	40		
Volume massique des vapeurs surchauffées(m³/kg)								
0,057534	0,059243	0,060921	0,062572	0,0642	0,065808	0,068974	-50	6,8234
0,047529	0,048977	0,050394	0,051785	0,053154	0,054504	0,057156	-45	8,3184
0,039561	0,040803	0,042015	0,043202	0,044367	0,045514	0,04776	-40	10,045
0,033151	0,03423	0,035279	0,036303	0,037305	0,03829	0,040214	-35	12,024
0,027941	0,028889	0,029808	0,030701	0,031574	0,032428	0,034092	-30	14,278
0,023673	0,024517	0,025331	0,026118	0,026885	0,027634	0,029088	-25	16,827
0,020144	0,020904	0,021632	0,022334	0,023014	0,023677	0,024958	-20	19,696
0,017204	0,017896	0,018554	0,019186	0,019795	0,020387	0,021527	-15	22,908
0,014735	0,015374	0,015975	0,016549	0,0171	0,017633	0,018655	-10	26,487
0,012648	0,013243	0,013799	0,014325	0,014828	0,015312	0,013235	-5	30,459
0,010869	0,011432	0,011952	0,012439	0,012901	0,013344	0,014184	0	34,851
0,009342	0,009882	0,010373	0,010828	0,011256	0,011665	0,012435	5	39,695
0,008023	0,008548	0,009016	0,009445	0,009845	0,010225	0,010935	10	45,022
0,006874	0,007393	0,007844	0,008252	0,008629	0,008983	0,009642	15	50,871
0,005866	0,006388	0,006827	0,007218	0,007575	0,007908	0,008521	20	57,291
0,004974	0,005509	0,005940	0,006316	0,006656	0,006970	0,007544	25	64,342
0,004179	0,004733	0,005160	0,005523	0,005848	0,006145	0,006683	30	72,137
Enthalpie (Kj/kg)								
437,4	442,05	446,64	451,2	455,71	460,2	469,13	-50	6,8234
439,03	443,84	448,58	453,26	457,9	462,5	471,63	-45	8,3184
440,43	445,42	450,31	455,14	459,91	464,63	473,99	-40	10,045
441,56	446,75	451,83	456,82	461,73	466,59	476,18	-35	12,024
442,42	447,84	453,11	458,27	463,35	468,35	478,2	-30	14,278
442,96	448,64	454,14	459,5	464,75	469,91	480,04	-25	16,827
443,16	449,13	454,89	460,47	465,91	471,25	481,68	-20	19,696
442,98	449,29	455,33	461,16	466,82	472,36	483,13	-15	22,908
442,36	449,08	455,45	461,56	467,47	473,21	484,35	-10	26,487
441,25	448,46	455,21	461,64	467,82	473,81	485,35	-5	30,459
439,59	447,38	454,58	461,38	467,87	474,12	486,11	0	34,851
437,26	445,77	453,51	460,73	467,58	474,13	486,62	5	39,695
434,16	443,58	451,97	459,69	466,93	473,82	486,86	10	45,022
430,13	440,73	449,89	458,19	465,9	473,17	486,81	15	50,871
424,96	437,1	447,23	456,21	464,44	472,15	486,46	20	57,291
418,37	432,59	443,9	453,69	462,53	470,72	485,78	25	64,342
409,97	427,02	439,78	450,52	460,07	468,81	484,7	30	72,137

D'après un document Climalife DEHON.

Table 15	CARACTERISTIQUES THERMODYNAMIQUES DU PERMORMAX LT								Etat saturé	
	LIQUIDE				VAPEUR					
P. absolue bar	Temp.bulle t' °C	Vol.mass. v' dm³/kg	Masse vol. p' kg/m³	Enthalpie h' kj/kg	Temp.rosée t" °C	Vol.mas. v" m³/kg	Masse vol. p" kg/m³	Enthalpie h" kj/kg	Chaleur vaporisation lv kj/kg	
0,1369	-80	0,679	1474	91,9	-73,0	1,466	0,682	373,9	282,0	
0,1933	-75	0,685	1459	98,4	-68,1	1,060	0,943	376,9	278,5	
0,2677	-70	0,692	1444	105,0	-63,2	0,781	1,280	379,9	274,9	
0,3641	-65	0,699	1430	111,5	-58,3	0,586	1,708	382,8	271,3	
0,4870	-60	0,707	1415	118,1	-53,4	0,446	2,243	385,7	267,7	
0,6413	-55	0,714	1400	124,6	-48,5	0,344	2,904	388,6	264,0	
0,8326	-50	0,722	1385	131,2	-43,5	0,269	3,712	391,5	260,2	
1,013	-46,06	0,729	1372	136,5	-39,7	0,224	4,465	393,7	257,2	
1,0668	-45	0,730	1369	137,9	-38,6	0,213	4,688	394,3	256,4	
1,3502	-40	0,739	1354	144,6	-33,7	0,171	5,856	397,0	252,5	
1,6899	-35	0,747	1338	151,3	-28,8	0,138	7,242	399,7	248,4	
2,0929	-30	0,757	1322	158,1	-23,9	0,113	8,875	402,4	244,3	
2,5668	-25	0,766	1305	164,9	-19,0	0,093	10,785	404,9	240,1	
3,1197	-20	0,776	1289	171,8	-14,1	0,077	13,006	407,4	235,7	
3,7597	-15	0,786	1272	178,7	-9,2	0,064	15,575	409,9	231,2	
4,4956	-10	0,797	1254	185,7	-4,3	0,054	18,534	412,2	226,5	
5,3362	-5	0,809	1237	192,8	0,6	0,046	21,928	414,4	221,6	
6,2906	0	0,821	1218	200,0	5,5	0,039	25,809	416,5	216,5	
7,3683	5	0,834	1199	207,3	10,4	0,033	30,237	418,5	211,3	
8,579	10	0,848	1180	214,6	15,3	0,028	35,278	420,4	205,7	
9,9327	15	0,862	1160	222,1	20,2	0,0286	34,971	422,1	200,0	
11,4396	20	0,878	1139	229,7	25,0	0,021	47,536	423,6	193,9	
13,1102	25	0,895	1117	237,5	29,9	0,018	54,958	424,9	187,4	
14,9554	30	0,914	1094	245,4	34,7	0,016	63,416	426,0	180,6	
16,9862	35	0,935	1070	253,5	39,5	0,014	73,080	426,9	173,4	
19,2141	40	0,957	1044	261,8	44,3	0,012	84,170	427,4	165,6	
21,6512	45	0,983	1017	270,3	49,1	0,010	96,97	427,6	157,2	
24,3099	50	1,012	988	279,2	53,9	0,009	111,869	427,3	148,2	
27,2035	55	1,046	956	288,3	58,7	0,008	129,423	426,5	138,2	
30,3457	60	1,086	921	298,0	63,4	0,007	150,47	425,0	127,1	
33,7511	65	1,136	880	308,2	68,0	0,006	176,383	422,5	114,3	
37,4334	70	1,202	832	319,4	72,6	0,005	209,708	418,6	99,3	
41,4008	75	1,299	770	332,2	77,1	0,004	256,275	412,2	80,0	

D'après un document Climalife DEHON

Table 16 CARACTERISTIQUES THERMODYNAMIQUES DU PERFORMAX LT *Etat surchauffé*

Volume massique des vapeurs surchauffées(dm³/kg)							T° à sat. °C	P à sat. bar abs.	Enthalpie (Kj/kg)						
SURCHAUFFE (°C)									SURCHAUFFE (°C)						
5	10	15	20	25	30	40			5	10	15	20	25	30	40
2469,2	2533,3	2597,3	2661,	2724,7	2788,2	2915	-80	0,0808	373,0	376,4	379,8	383,2	386,6	390,1	397,2
1722,7	1766,7	1810,5	1854,2	1897,8	1941,3	2028,1	-75	0,1185	376,1	379,5	383,0	386,4	389,9	393,5	400,7
1228,7	1259,7	1290,5	1321,1	1351,7	1382,2	1443	-70	0,1698	379,2	382,7	386,2	389,7	393,3	396,8	404,1
894,29	916,53	938,65	960,67	982,61	1004,5	1048	-65	0,2382	382,3	385,8	389,4	393,0	396,6	400,2	407,6
662,89	679,22	695,45	711,65	727,65	743,65	775,5	-60	0,3277	385,4	389,0	392,6	396,2	399,9	403,6	411,1
499,66	511,88	524,01	536,06	548,05	559,98	583,72	-55	0,4430	388,4	392,1	395,8	399,5	403,2	407,0	414,6
382,41	391,72	400,95	410,12	419,22	428,28	446,27	-50	0,5890	391,5	395,2	399,0	402,7	406,5	410,3	418,1
296,78	304,00	311,14	318,22	325,25	332,24	346,11	-45	0,7714	394,4	398,3	402,1	405,9	409,8	413,7	421,5
233,28	238,96	244,57	250,13	255,64	261,11	271,96	-40	0,9963	397,4	401,3	405,2	409,1	413,1	417,0	425,0
229,66	235,26	240,78	246,26	251,68	257,07	267,74	-39,67	1,013	397,6	401,5	405,4	409,4	413,3	417,2	425,2
185,51	190,04	194,52	198,94	203,33	207,68	216,28	-35	1,270	400,3	404,3	408,3	412,3	416,3	420,3	428,4
149,09	152,77	156,39	159,96	163,49	166,99	173,91	-30	1,601	403,2	407,3	411,4	415,4	419,5	423,6	431,9
121,00	124,01	126,97	129,89	132,78	135,63	141,26	-25	1,995	406,0	410,2	414,4	418,5	422,7	426,9	435,2
99,08	101,58	104,03	106,44	108,82	111,18	115,81	-20	2,462	408,8	413,0	417,3	421,6	425,8	430,1	438,6
81,78	83,88	85,94	87,96	89,94	91,91	95,76	-15	3,008	411,4	415,8	420,2	424,5	428,9	433,2	441,9
68,01	69,79	71,53	73,24	74,91	76,57	79,81	-10	3,644	414,0	418,6	423,0	427,5	431,9	436,3	445,2
56,94	58,46	59,95	61,41	62,84	64,24	67,00	-5	4,379	416,6	421,2	425,8	430,3	434,9	439,4	448,4
47,96	49,28	50,56	51,82	53,05	54,26	56,62	0	5,222	419,0	423,8	428,5	433,1	437,7	442,4	451,6
40,61	41,77	42,89	43,98	45,05	46,10	48,14	5	6,184	421,3	426,2	431,1	435,8	440,6	445,3	454,7
34,57	35,59	36,57	37,53	38,46	39,38	41,16	10	7,275	423,6	428,6	433,6	438,5	443,3	448,1	457,7
29,55	30,46	31,33	32,18	33,00	33,81	35,37	15	8,506	425,6	430,9	436,0	441,0	446,0	450,9	460,7
25,35	26,17	26,95	27,71	28,44	29,16	30,54	20	9,889	427,6	433,0	438,2	443,4	448,5	453,6	463,6
21,83	22,57	23,27	23,95	24,61	25,25	26,48	25	11,435	429,4	435,0	440,4	445,7	451,0	456,2	466,4
18,84	19,52	20,16	20,78	21,37	21,95	23,05	30	13,16	431,0	436,8	442,4	447,9	453,3	458,6	469,1
16,30	16,93	17,52	18,08	18,62	19,14	20,14	35	15,07	432,4	438,5	444,3	450,0	455,5	461,0	471,8
14,13	14,71	15,25	15,77	16,27	16,74	17,65	40	17,19	433,6	439,9	446,0	451,9	457,6	463,2	474,3
12,25	12,80	13,31	13,79	14,25	14,68	15,51	45	19,53	434,5	441,2	447,5	453,6	459,5	465,3	476,7
10,63	11,15	11,63	12,08	12,50	12,90	13,67	50	22,11	435,2	442,2	448,8	455,1	461,3	467,3	479,0
9,22	9,72	10,17	10,59	10,98	11,36	12,07	55	24,95	435,4	442,9	449,8	456,5	462,9	469,1	481,1
7,97	8,46	8,89	9,29	9,66	10,02	10,67	60	28,07	435,2	443,2	450,6	457,6	464,2	470,7	483,1
6,88	7,35	7,77	8,15	8,51	8,84	9,45	65	31,50	434,5	443,2	451,1	458,4	465,4	472,1	484,9
5,90	6,38	6,78	7,15	7,48	7,80	8,37	70	35,28	433,1	442,7	451,1	458,9	466,2	473,2	486,6
5,01	5,50	5,90	6,25	6,57	6,87	7,41	75	39,48	430,7	441,5	450,7	459,0	466,7	474,0	487,9
4,18	4,69	5,09	5,43	5,74	6,02	6,53	80	44,22	426,7	439,3	449,5	458,4	466,7	474,4	488,9

D'après un document Climalife DEHON

Table 17

Eau pure. Masses volumiques et chaleurs massiques.

°C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ρ kg/m³	999,9	999,9	999,96	999,98	1000	999,9	999,9	999,8	999,8	999,7
Cm Kj/kg.°K	4,214	4,211	4,209	4,206	4,203	4,201	4,199	4,197	4,195	4,193
°C	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ρ kg/m³	999,5	999,4	999,3	999,1	999	998,8	998,7	998,5	998,4	998,2
Cm Kj/kg.°K	4,192	4,191	4,190	4,189	4,188	4,186	4,185	4,184	4,183	4,182
°C	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
ρ kg/m³	998	997,7	997,5	997,2	997	996,7	996,5	996,2	996	995,7
Cm Kj/kg.°K	4,182	4,181	4,181	4,181	4,181	4,180	4,180	4,180	4,179	4,179
°C	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
ρ kg/m³	995,4	995	994,7	994,3	994	993,,6	993,3	992,9	992,5	992,2
Cm Kj/kg.°K	4,179	4,179	4,179	4,179	4,179	4,179	4,179	4,179	4,179	4,179
°C	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
ρ kg/m³	991,8	991,4	990,9	990,5	990,1	989,7	989,3	988,8	988,4	988
Cm Kj/kg.°K	4,179	4,179	4,180	4,180	4,180	4,180	4,180	4,181	4,181	4,181
°C	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
ρ kg/m³	987,5	987	986,6	986,1	985,6	985,1	984,6	984,2	983,7	983,2
Cm Kj/kg.°K	4,181	4,182	4,182	4,183	4,183	4,183	4,184	4,184	4,185	4,185

Table 18

Alcali* 10,8% . Pourcentage en masse. Température du point de congélation : −15°C.

°C	-15	-14	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5
ρ kg/m³	962	962	962,1	962,15	962,1	962	961,8	961,7	961,5	961,2	961
Cm Kj/kg.°K	4,250	4,248	4,245	4,243	4,241	4,239	4,237	4,235	4,233	4,231	4,229
°C	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
ρ kg/m³	960,8	960,75	960,4	960,2	960	959,8	959,6	959,4	959,25	959,05	958,9
Cm Kj/kg.°K	4,227	4,225	4,223	4,222	4,220	4,218	4,217	4,215	4,214	4,212	4,211
°C	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ρ kg/m³	958,7	958,45	958,2	958	957,75	957,45	957,2	956,9	956,55	956,2	955,95
Cm Kj/kg.°K	4,209	4,208	4,207	4,205	4,204	4,203	4,202	4,201	4,2	4,199	4,198
°C	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
ρ kg/m³	955,6	956,25	955	954,7	954,4	954,1	953,8	953,4	953	952,7	952,3
Cm Kj/kg.°K	4,197	4,196	4,195	4,194	4,193	4,193	4,192	4,191	4,190	4,189	4,188
°C	29	30									
ρ kg/m³	952	951,7									
Cm Kj/kg.°K	4,188	4,187									

*mélange d'ammoniac (10,8 %) et d'eau déminéralisée.

Table 19

Alcali* 13,4 %. Pourcentage en masse. Température du point de congélation : −20°C.

°C	-20	-19	-18	-17	-16	-15	-14	-13	-12	-11	-10
ρ kg/m³	955	955	955	954,95	954,9	954,8	954,7	954,5	962,15	962,1	962
Cm Kj/kg.°K	4,26	4,258	4,256	4,254	4,251	4,251	4,248	4,245	4,243	4,241	4,239
°C	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1
ρ kg/m³	953,8	953,6	953,4	953,2	953	952,9	952,75	952,4	952,2	952	951,75
Cm Kj/kg.°K	4,237	4,235	4,233	4,232	4,23	4,228	4,227	4,225	4,223	4,222	4,221
°C	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ρ kg/m³	951,45	951,2	950,9	950,5	950,2	949,95	949,6	949,3	949	948,7	948,4
Cm Kj/kg.°K	4,219	4,218	4,216	4,216	4,214	4,213	4,211	4,210	4,209	4,208	4,207
°C	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
ρ kg/m³	948,1	947,8	947,5	947,2	946,9	946,6	946,3	946	945,7	945,4	945
Cm Kj/kg.°K	4,205	4,204	4,203	4,202	4,201	4,200	4,199	4,198	4,197	4,196	4,195
°C	24	25	26	27	28	29	30				
ρ kg/m³	944,8	944,3	944	943,8	943,4	943	942,7				
Cm Kj/kg.°K	4,194	4,193	4,192	4,191	4,190	4,190	4,189				

* mélange d'ammoniac et d'eau déminéralisée. Dans ce mélange 13,4 % d'ammoniac.

Table 20

Alcali* 17,7 %. Pourcentage en masse. Température du point de congélation : –30°C.

°C	-40	-39	-38	-37	-36	-35	-34	-33	-32	-31	-30
ρ kg/m³	947	947	946,9	946,8	946,7	946,6	946,5	946,4	946,3	946,1	946
Cm Kj/kg.°K	4,319	4,316	4,313	4,310	4,307	4,304	4,302	4,299	4,296	4,293	4,290
°C	-29	-28	-27	-26	-25	-24	-23	-22	-21	-20	-19
ρ kg/m³	945,9	945,7	945,6	945,4	945,3	945,1	944,9	944,7	944,5	944,3	944,1
Cm Kj/kg.°K	4,288	4,285	4,282	4,280	4,277	4,275	4,272	4,270	4,268	4,265	4,263
°C	-18	-17	-16	-15	-14	-13	-12	-11	-10	-9	-8
ρ kg/m³	943,9	943,7	943,5	943,2	943,0	942,8	942,5	942,3	942,0	941,7	941,4
Cm Kj/kg.°K	4,261	4,259	4,257	4,254	4,252	4,250	4,248	4,246	4,244	4,243	4,241
°C	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3
ρ kg/m³	941,2	940,9	940,6	940,3	940,0	939,6	939,3	939,0	938,7	938,3	938
Cm Kj/kg.°K	4,239	4,237	4,235	4,234	4,232	4,230	4,229	4,227	4,226	4,224	4,223
°C	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ρ kg/m³	937,6	937,2	936,9	936,5	936,1	935,7	935,3	934,9	934,5	934,1	933,7
Cm Kj/kg.°K	4,222	4,220	4,219	4,218	4,217	4,217	4,214	4,213	4,212	4,211	4,210
°C	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
ρ kg/m³	933,2	932,8	932,4	931,9	931,5	931	930,5	930,1	929,6	929,1	928,6
Cm Kj/kg.°K	4,209	4,209	4,208	4,207	4,206	4,205	4,205	4,204	4,203	4,203	4,202
°C	26	27	28	29	30						
ρ kg/m³	928,1	927,6	927,1	926,6	926						
Cm Kj/kg.°K	4,202	4,201	4,201	4,201	4,200						

* mélange d'ammoniac et d'eau déminéralisée. Dans ce mélange 17,7 % d'ammoniac.

Table 21

Alcali* 22,4 % Pourcentage en masse Température du point de congélation : -45°C

°C		-45	-44	-43	-42	-41	-40	-39	-38	-37	-36
ρ kg/m³		940	939,8	939,7	939,45	939,25	939	938,75	938,4	938,2	937,85
Cm Kj/kg.°K		4,335	4,331	4,328	4,325	4,321	4,318	4,315	4,312	4,309	4,306
°C	-35	-34	-33	-32	-31	-30	-29	-28	-27	-26	-25
ρ kg/m³	937,5	937,2	936,9	936,5	936,3	936	935,7	935,4	935,1	934,8	934,4
Cm Kj/kg.°K	4,303	4,301	4,298	4,295	4,293	4,290	4,288	4,285	4,283	4,280	4,278
°C	-24	-23	-22	-21	-20	-19	-18	-17	-16	-15	-14
ρ kg/m³	934,2	933,9	933,55	933,25	933	932,7	932,2	931,8	931,4	931	931,6
Cm Kj/kg.°K	4,276	4,273	4,271	4,269	4,267	4,265	4,263	4,261	4,259	4,257	4,256
°C	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3
ρ kg/m³	931,15	929,75	929,3	929	928,6	928,2	927,8	927,4	927,1	926,7	926,3
Cm Kj/kg.°K	4,254	4,252	4,250	4,249	4,247	4,246	4,244	4,243	4,241	4,240	4,238
°C	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ρ kg/m³	925,85	925,4	925	924,5	924,1	923,55	923,1	922,6	922,1	921,5	921
Cm Kj/kg.°K	4,237	4,236	4,235	4,233	4,232	4,231	4,230	4,229	4,228	4,227	4,226
°C	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
ρ kg/m³	920,5	920	919,5	919	918,5	918	917,5	917	916,5	916	915,5
Cm Kj/kg.°K	4,225	4,224	4,223	4,222	4,221	4,220	4,220	4,219	4,218	4,217	4,217
°C	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
ρ kg/m³	915	914,5	914	913,5	913	912,5	912	911,5	911	910,5	910
Cm Kj/kg.°K	4,216	4,215	4,215	4,214	4,214	4,213	4,213	4,212	4,212	4,211	4,211

* mélange d'ammoniac et d'eau déminéralisée. Dans ce mélange 22,4 % d'ammoniac.

Table 22

Alcali* 23,6 % Pourcentage en poids. Température du point de congélation : –50°C

°C	-46	-45	-44	-43	-42	-41	-40	-39	-38	-37	-36
ρ kg/m³	938,7	938,4	938,2	937,9	937,7	937,3	937	936,7	936,4	936,1	935,85
Cm Kj/kg.°K	4,348	4,343	4,339	4,334	4,330	4,326	4,322	4,318	4,314	4,311	4,307
°C	-35	-34	-33	-32	-31	-30	-29	-28	-27	-26	-25
ρ kg/m³	935,5	935,2	935	934,6	934,3	934	933,7	933,2	932,9	932,5	932,1
Cm Kj/kg.°K	4,304	4,301	4,298	4,295	4,293	4,290	4,288	4,285	4,283	4,281	4,278
°C	-24	-23	-22	-21	-20	-19	-18	-17	-16	-15	-14
ρ kg/m³	931,7	931,2	930,8	930,4	930	929,75	929,25	928,9	928,5	928	927,55
Cm Kj/kg.°K	4,276	4,274	4,272	4,270	4,268	4,267	4,265	4,263	4,261	4,260	4,258
°C	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3
ρ kg/m³	927,2	926,85	926,45	926	925,5	925	924,5	924	923,5	923	922,5
Cm Kj/kg.°K	4,256	4,255	4,253	4,252	4,250	4,249	4,247	4,246	4,245	4,243	4,242
°C	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
ρ kg/m³	922	921,5	921	920,5	920	919,5	919	918,5	918	917,5	917
Cm Kj/kg.°K	4,241	4,240	4,238	4,237	4,236	4,235	4,234	4,233	4,231	4,230	4,229
°C	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
ρ kg/m³	916,5	916	915,5	915	914,5	914	913,5	913	912,5	912	911,5
Cm Kj/kg.°K	4,228	4,227	4,226	4,226	4,225	4,224	4,223	4,222	4,221	4,221	4,220
°C	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
ρ kg/m³	911	910,5	910	909,5	909	908,5	908	907,5	907	906,5	906
Cm Kj/kg.°K	4,219	4,219	4,218	4,217	4,217	4,216	4,215	4,215	4,214	4,214	4,213

* mélange d'ammoniac et d'eau déminéralisée. Dans ce mélange 23,6 % d'ammoniac.

Table 23

FRIOGEL NEO. MPG. Mono Propylène Glycol.

% de FRIOGEL NEO en volume	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Point de congélation en °C (+/-2°C)	-5	-7	-10	-13	-17	-22	-27	-32	-39	-45
Masse volumique à 20°C kg/dm³	1,013	1,018	1,023	1,028	1,032	1,037	1,040	1,044	1,046	1,048

Chaleur massique du FRIOGEL NEO MPG (KJ /kg.°k)

FRIOGEL NEO Concentration % en volume	25 %	30 %	35%	40 %	45 %	50 %
-30 °C	Zone de congélation					3,4
-20 °C	Zone de congélation			3,6	3,5	3,4
-10 °C	3,9	3,8	3,7	3,6	3,5	3,4
0 °C	3,9	3,9	3,8	3,7	3,6	3,5
10 °C	4,0	3,9	3,8	3,7	3,6	3,5
20 °C	4,0	3,9	3,8	3,7	3,6	3,5
30 °C	4,0	3,9	3,8	3,8	3,7	3,6
40 °C	4,0	3,9	3,9	3,8	3,7	3,6

D'après un document Climalife DEHON.

60	
-45	
1,048	

TABLE 24

NEUTRAGEL NEO. MEG. Monoéthylène glycol.

Dans l'industrie agro-alimentaire, les mélanges à base de monoéthylène glycol sont interdits pour éviter tout risque de contamination lors de fuites.

% de Neutragel NEO en volume	25	30	35	40	45	50
Point de congélation en °C (+/-2°C)	-12	-16	-20	-25	-30	-37
Masse volumique à 20°C (kg/dm3)	1,034	1,041	1,048	1,055	1,061	1,067

Chaleur massique du NEUTRAGEL NEO MEG.(KJ /kg.°k)

NEUTRAGEL NEO Concentration % en volume	25 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %
-30 °C	Zone de congélation				3,3	3,2
-20°C	Zone de congélation		3,5	3,4	3,3	3,2
-10 °C°C	3,8	3,7	3,6	3,5	3,3	3,2
0 °C	3,8	3,7	3,6	3,5	3,4	3,3
10 °C	3,8	3,7	3,6	3,5	3,4	3,3
20 °C	3,8	3,7	3,6	3,5	3,4	3,3
30 °C°	3,9	3,7	3,7	3,6	3,5	3,4
40 °C	3,9	3,7	3,7	3,6	3,5	3,4

D'après un document Climalife DEHON.

TABLE 25

ASCAGEL MPG. Mono Propylène Glycol.

% d'ASCAGEL en volume	30	35	40	46	50
Point de congélation en °C	-12	-16	-19	-24	-31
Masse volumique à 20°C kg/m³	1025,5	1029,9	1033,8	1037,7	1040

Chaleur massique de l'ASCAGEL MPG (KJ /kg. °k)

ASCAGEL MPG Concentration % en volume	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %
-50 °C	Zone de congélation						3,0
-40 °C	Zone de congélation					3,2	3,1
-35 °C	Zone de congélation					3,2	3,1
-30 °C	Zone de congélation				3,4	3,2	3,1
-25 °C	Zone de congélation			3,5	3,4	3,3	3,1
-20 °C	Zone de congélation		3,6	3,5	3,4	3,3	3,2
-15 °C	Zone de congélation	3,8	3,6	3,5	3,4	3,3	3,2

D'après un document BRENNTAG.

TABLE 26

ASCAGEL MEG. Monoéthylène glycol.

Dans l'industrie agro-alimentaire, les mélanges à base de monoéthylène glycol sont interdits pour éviter tout risque de contamination lors de fuites.

% d'ASCAGEL en volume	30	35	40	45	50	55	60
Point de congélation en °C (+/-2°C)	-16,7	-21,12	-25,99	-31,32	-37,12	-43,37	-50
Masse volumique à 20°C kg/m³	1041,6	1048,8	1055,7	1062,3	1068,6	1074,5	1080,2

Chaleur massique de l'ASCAGEL MEG (KJ /kg. °k)

ASCAGEL MEG Concentration % en volume	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %
-50 °C	Zone de congélation						2,6
-40 °C	Zone de congélation					2,8	2,7
-35 °C	Zone de congélation				2,9	2,8	2,8
-30 °C	Zone de congélation			3,1	2,9	2,9	2,8
-25 °C	Zone de congélation		3,3	3,1	3,0	2,,9	2,8
-20 °C	Zone de congélation	3,5	3,3	3,2	3,0	2,9	2,9
-15 °C	3,7	3,5	3,4	3,2	3,1	3,0	2,9

D'après un document BRENNTAG.

NOTES PERSONNELLES

TABLE 27 TEMPER

TEMPER est une solution synthétique, sans glycol, à base de sels. Ce produit ne contient ni amine ni nitrite.

Cinq mélanges sont disponibles et désignés par la température de congélation.

Point de congélation en °C	-10	-20	-30	-40	-55
Masse volumique à 20°C kg/m³	1086	1142	1177	1207	1240

Chaleur massique du TEMPER (KJ /kg.°k)

	-10	-20	-30
-0 °C	3,542	3,263	3,075
-2 °C	3,538	3,257	3,069
-4 °C	3,534	3,251	3,063
-6 °C	3,529	3,245	3,056
-8	3,525	3,239	3,049
-10 °C	3,520	3,233	3,042
-12°C		3,226	3,035
-14°C		3,220	3,028
-16 °C		3,214	3,020
-18 °C		3,207	3,012
-20 °C		3,200	3,004
-22 °C			2,996
-24			2,988
-26			2,979

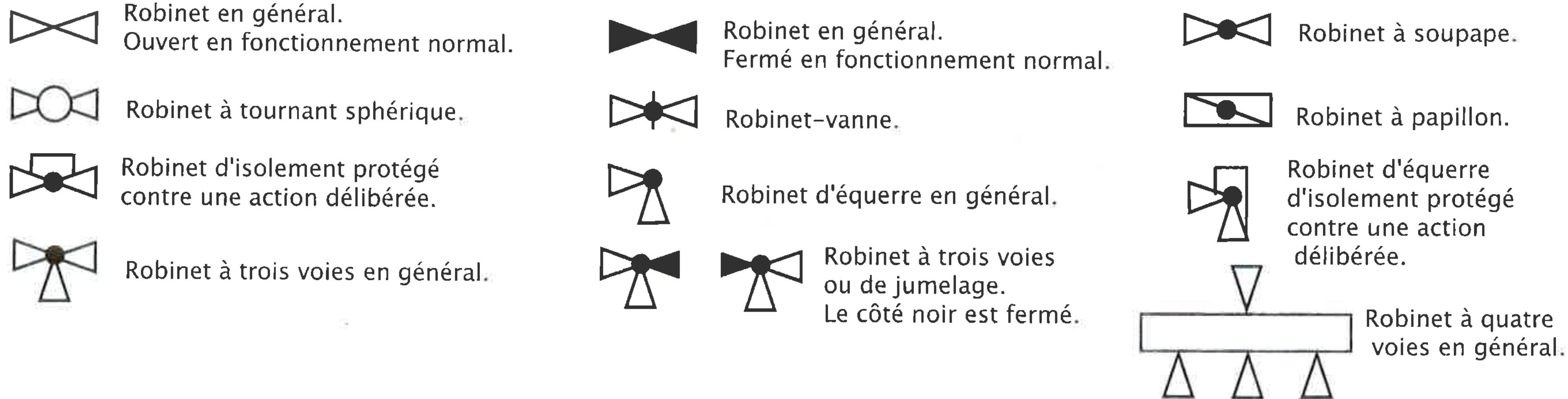
	-30	-40	-55
-28	2,970	2,884	2,756
-30	2,961	2,875	2,749
-32		2,865	2,741
-34		2,856	2,733
-36		2,846	2,725
-38		2,835	2,717
-40		2,825	2,708
-42			2,700
-44			2,691
-46			2,682
-48			2,673
-50			2,663
-52			2,654
-54			2,644

D'après un document Climalife DEHON.

NOTES PERSONNELLES

Les symboles normalisés. NF EN 1861.

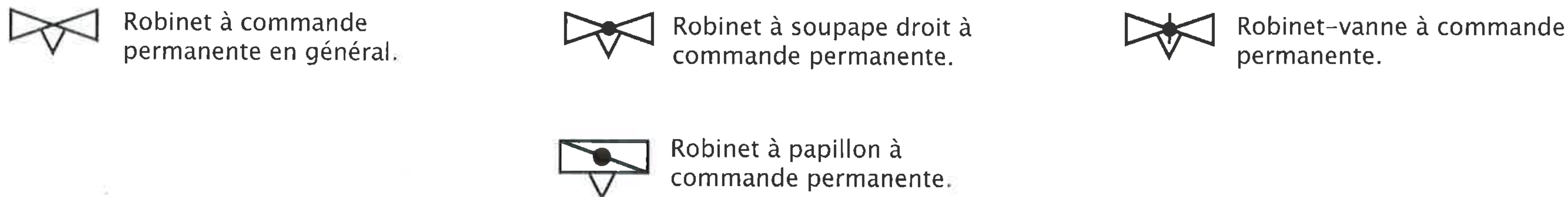
Gr.2 Robinets d'isolement



Gr.3 Clapet de non-retour



Gr.4 Vannes et robinets de régulation.



Gr.5 Robinets, accessoires de tuyauterie de sécurité.



Soupape de sécurité.
Le trait droit indique la sortie de la soupape, le maintien du clapet de soupape est obtenu par un ressort.



Soupape de sécurité d'équerre.
Elle peut être représentée :
- en décharge dans l'atmosphère
- en décharge du côté H.P. vers le côté B.P.

re
al.

e.

Gr.7 Accessoires de tuyauterie


Compensateur de tuyauterie


Réducteur en général.


Joint démontable.

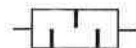

Robinet monté avec raccord démontable.

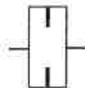

Entonnoir.


Sortie vers l'atmosphère.

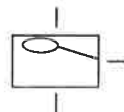

Voyant.

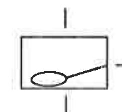

Voyant avec indicateur d'humidité.


Silencieux.

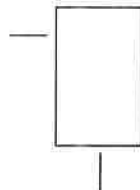

Diaphragme.

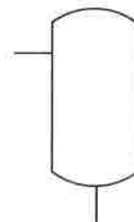

Purgeur de vapeur.


Robinet à flotteur haute pression. (ouverture lorsque le niveau monte).

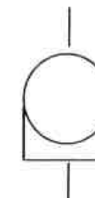

Robinet à flotteur basse pression. (ouverture lorsque le niveau descend).

Gr.8 Récipients et réservoirs.

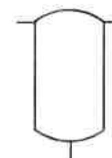

Récipient en général.

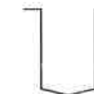

Récipient à fonds bombés. Schéma de l'ensemble de nos réservoirs.


Bouteille à gaz.

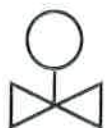

Récipient sphérique.

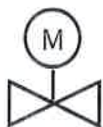

Récipient à couvercle.


Récipient à couvercle convexe.

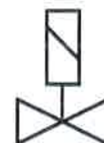

Récipient à fond conique.

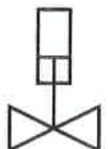
Gr.6 Robinets actionneurs


Entraînement en général avec indication de l'énergie ou automatique.



Entraînement par moteur électrique.

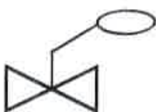

Entrainement par solénoïde.


Entraînement par piston.


Entraînement par diaphragme.

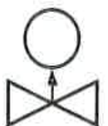

Commandé par une pression agissant contre une masse fixe.

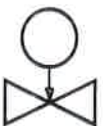

Commandé par une pression agissant contre un ressort.


Entraînement par flotteur.

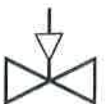


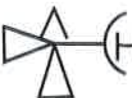
Commande manuelle.


Ouverture forcée en cas de panne d'entraînement.


Fermeture forcée en cas de panne d'entraînement.


Bloqué par l'activation.


Fermeture rapide.



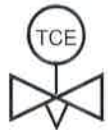
Robinet de commande manuelle à passage d'équerre.



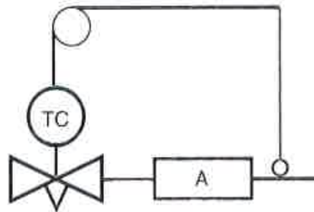
Robinet de commande manuelle à passage direct.


Fermeture rapide commandée par une pression agissant contre une masse fixe.
Exemple : robinet de purge d'huile à fermeture rapide.

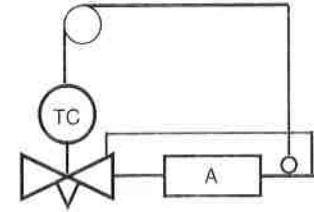
Gr.6 Robinets actionneurs



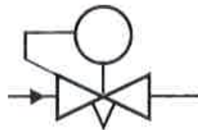
Détendeur électronique



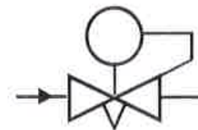
Détendeur thermostatique à égalisation interne de pression.



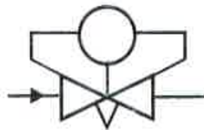
Détendeur thermostatique à égalisation externe de pression.



Robinet régulateur de pression amont.
La pression contrôlée est celle qui se situe avant le régulateur.

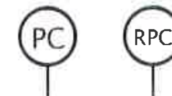


Robinet régulateur de pression aval.
La pression contrôlée est celle qui se situe après le régulateur.

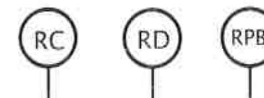


Robinet régulateur de pression différentielle.
C'est la différence de pression entre l'amont et l'aval qui est contrôlée.

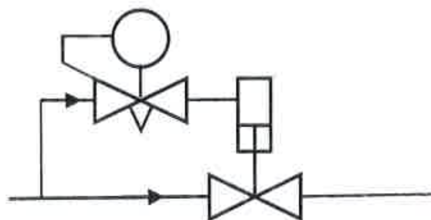
Régulateurs amont



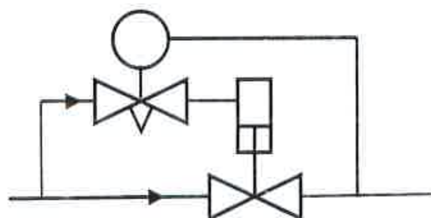
Régulateurs aval



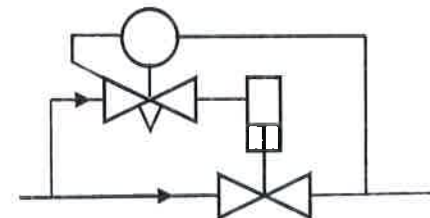
Régulateurs :
- PC : de pression d'évaporation,
- RPC : pression de condensation,
- RC : de capacité,
- RD : de démarrage,
- RPB : de pression de bouteille. (par convention)



Robinet entraîné par piston équipé d'un régulateur amont.

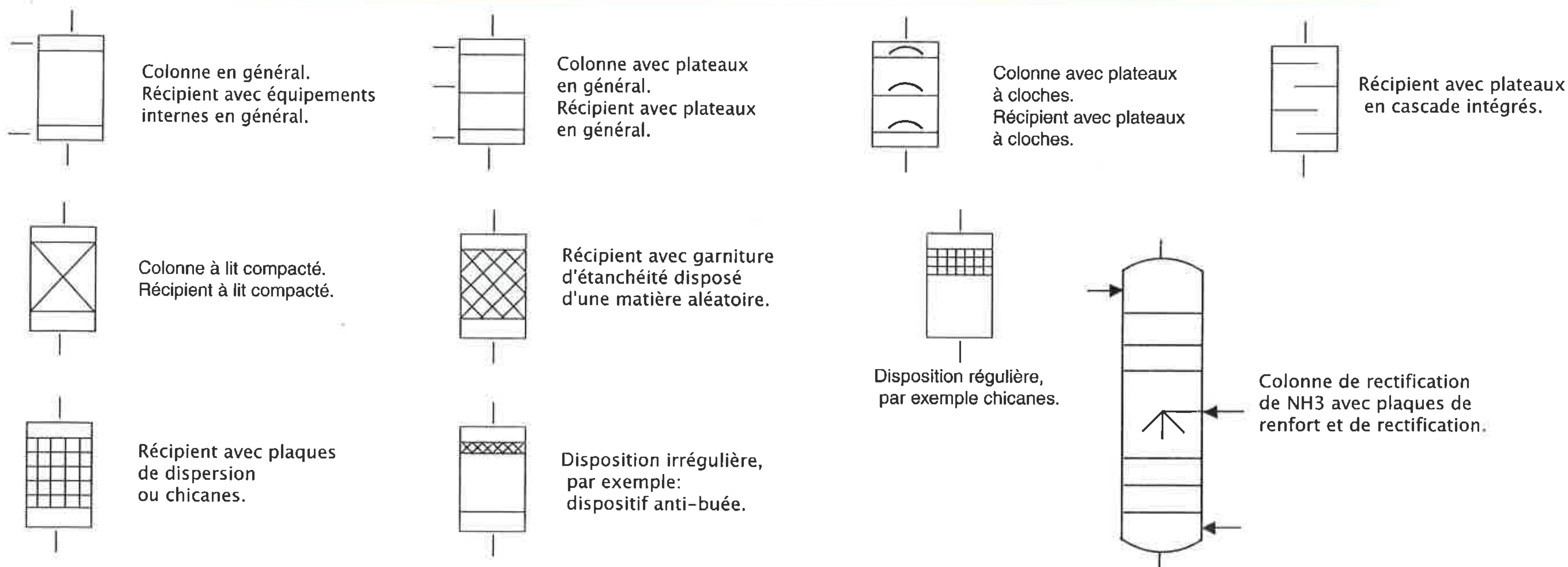


Robinet entraîné par piston équipé d'un régulateur aval.

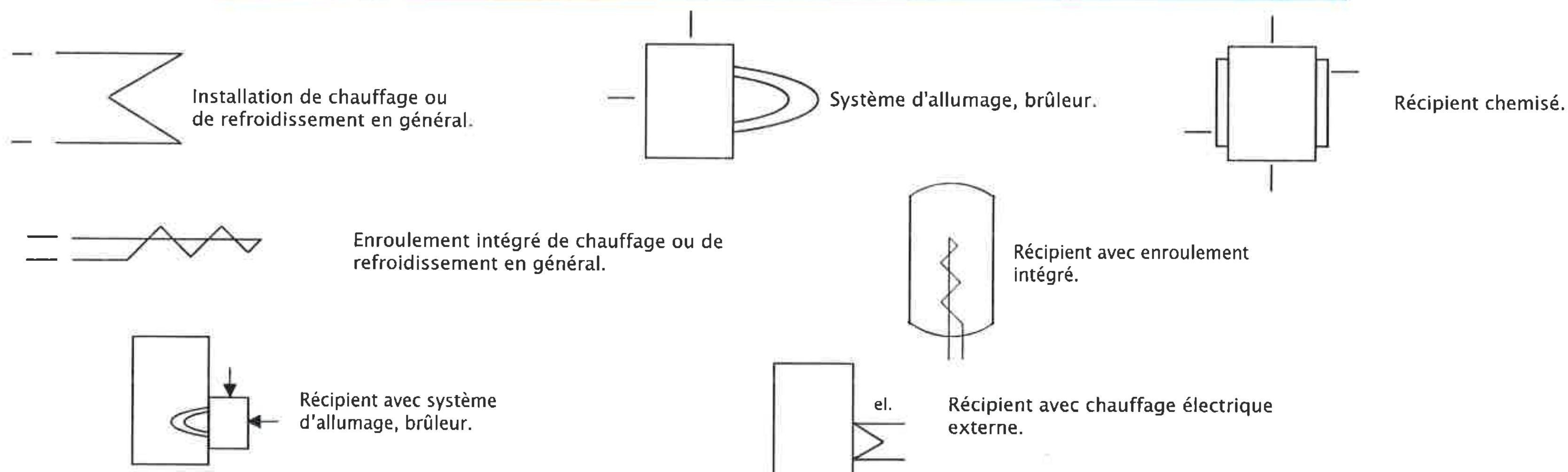


Robinet entraîné par piston équipé d'un régulateur différentiel.

Gr.9 Récipients, colonnes et réacteurs chimiques avec équipements internes.



Gr. 10 Installation de chauffage ou de refroidissement.

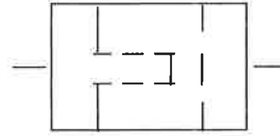


ux

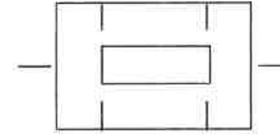
Gr. 12 Filtres, filtres déshydrateurs, filtre à liquide, filtre à gaz.



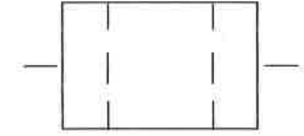
Filtre,
équipement filtrant
en général.



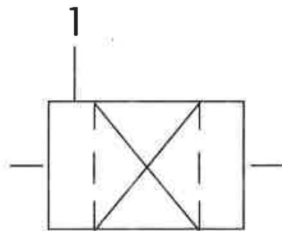
Filtre à cartouche.



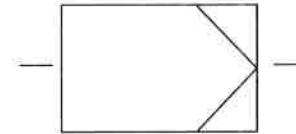
Filtre avec
charbon actif.



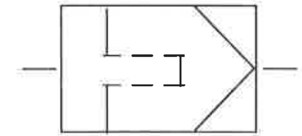
Filtre à liquide en général.



Filtre à lit compacté.
Dans notre profession, déshydrateur.
Le raccord "1" représente la prise manométrique du boitier déshydrateur.

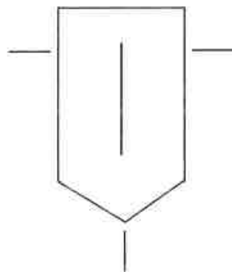


Filtre à gaz,
filtre à air en général

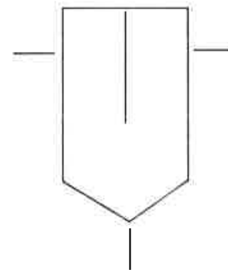


Filtre à sac, cartouche,
filtre pour gaz.

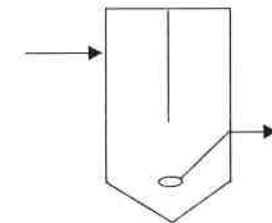
Gr. 13 Séparateurs.



Séparateur en général.

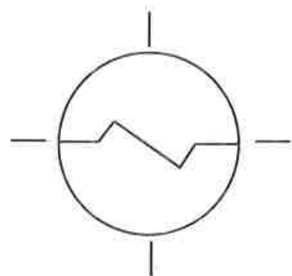


Séparateur impacteur.

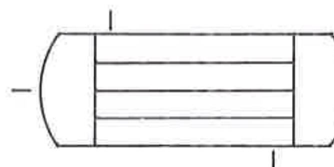


Déshuileur à flotteur.

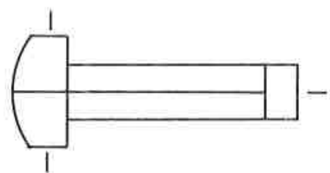
Gr. 11 Echangeurs thermiques, générateurs de vapeur.



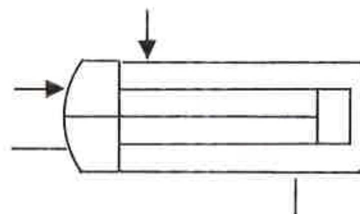
Echangeur thermique
avec intersection
des conduites.



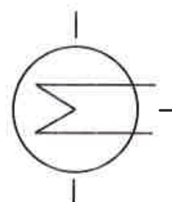
Corps d'échangeur thermique à faisceau tubulaire et échangeur thermique du type tube à plaque tubulaire fixe.



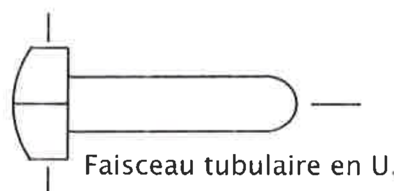
Faisceau tubulaire
à tête flottante.



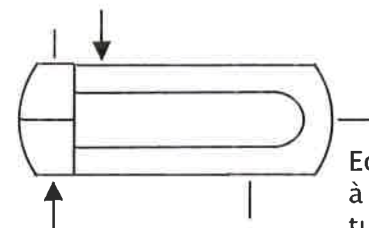
Echangeur thermique à faisceau
tubulaire et tête flottante.



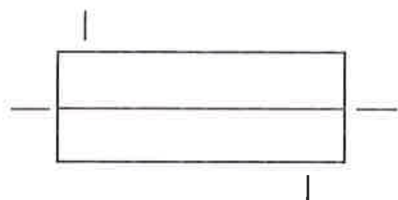
Echangeur thermique
sans intersection
des conduites.



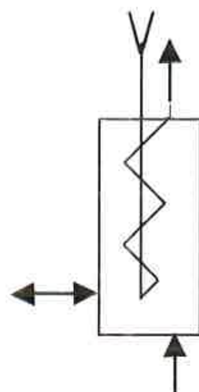
Faisceau tubulaire en U.



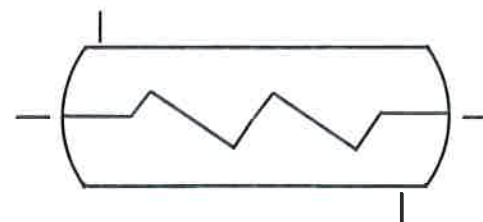
Echangeur thermique
à faisceau
tubulaire en U.



Echangeur de chaleur à
double conduit.

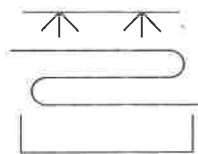


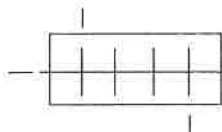
Purgeur.

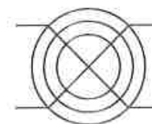


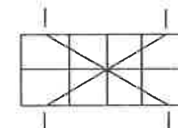
Echangeur thermique à
serpentin.

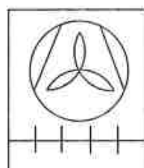
Gr. 11 Echangeurs thermiques, générateurs de vapeur.


Refroidisseur à ruissellement.

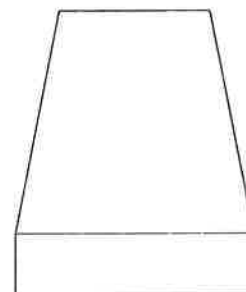

Echangeur thermique à ailettes.

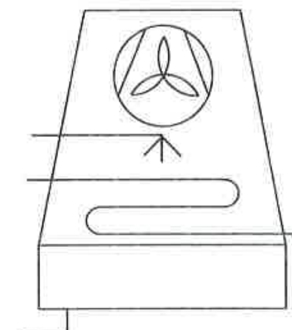

Echangeur de chaleur à serpentin.


Echangeur thermique à plaques.

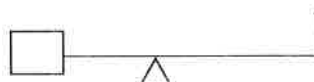

Echangeur thermique à ailettes avec soufflante.
Dans notre profession, évaporateur refroidisseur d'air, condenseur refroidi par air.

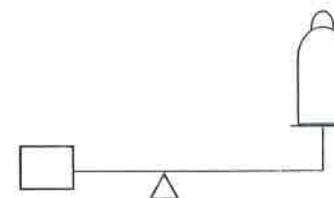

Chaudière à vapeur.


Tour de refroidissement en général.


Tour de refroidissement ou aéroréfrigérant.

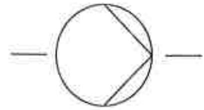
Gr. 18 Balances.

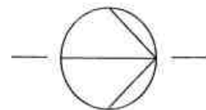

Balance, bascule en général.


Balance à plate-forme avec bouteille à gaz.

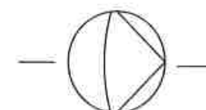
Gr. 15 Pompe à liquide.

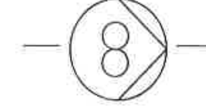
La flèche indique le sens de l'écoulement.

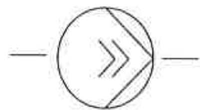

Pompe en général.

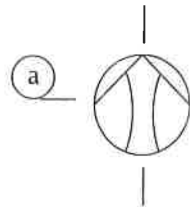

Pompe centrifuge.


Pompe alternative.

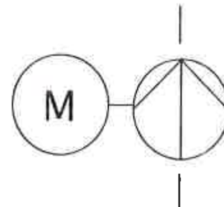

Pompe à menbrane.


Pompe à engrenage.

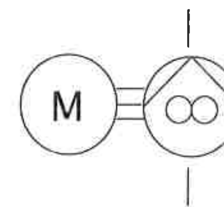

Pompe à vis.



Pompe à jet liquide.
"a" alimentation en fluide actif.



Pompe centrifuge avec arbre extérieur étanche entraîné par un moteur électrique.

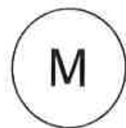


Pompe à engrenage hermétique.

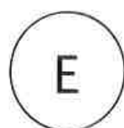
Gr.20 Moteurs électriques, moteurs thermiques, entraînements.



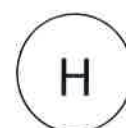
Entraînement en général.



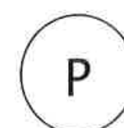
Moteur électrique en général.



Moteur à combustion.



Entraînement hydraulique.



Entraînement pneumatique.



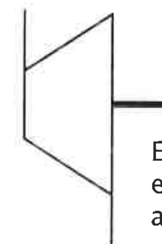
Moteur à courant électrique monophasé 230 V ou 400 V.



Moteur électrique triphasé.



Moteur à courant continu.

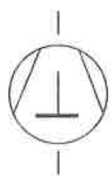

Entraînement avec expansion du fluide actif, turbine.

Gr. 16 Compresseurs, pompe à vide, ventilateurs.

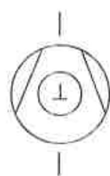
L'extrémité rétrécie indique le sens de l'écoulement.



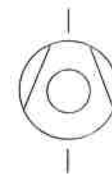
Compresseur ou pompe à vide en général.



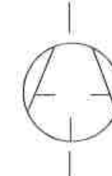
Compresseur ou pompe à vide alternatif. Compresseur à pistons.



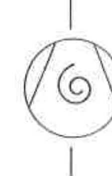
Compresseur ou pompe à vide rotatif à pistons.



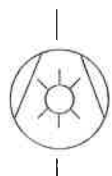
Turbocompresseur ou turbopompe à vide.



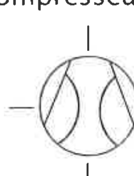
Compresseur ou pompe à vide à palettes, compresseur à palettes.



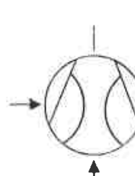
Compresseur spiro-orbital.



Turbocompresseur ou turbopompe à vide.



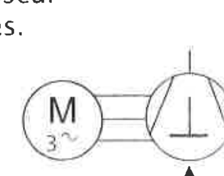
Compresseur éjecteur ou pompe à vide à jet.



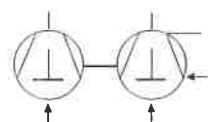
Compresseur éjecteur avec alimentation du fluide actif.



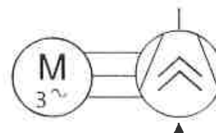
Compresseur à vis.



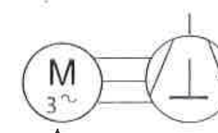
Compresseur alternatif ouvert accouplé en direct à un moteur électrique triphasé.



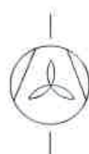
Compresseur à deux étages de compression, muni d'un système de refroidissement de tête de culasse.



Compresseur à vis hermétique ou semi-hermétique.



Compresseur alternatif semi-hermétique refroidi par les gaz d'aspiration.



Ventilateur en général.



Ventilateur centrifuge.



Ventilateur axial ou à hélice.

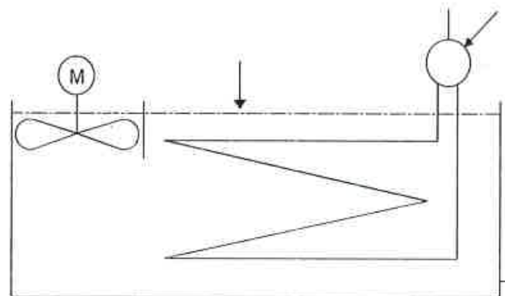
Gr. 14 Agitateurs.



Agitateur, en général.



Agitateur à palette.

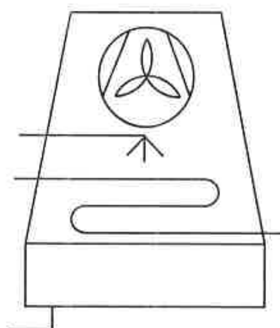


Agitateur actionné dans un système de fabrique de glace en mouleaux, par exemple.

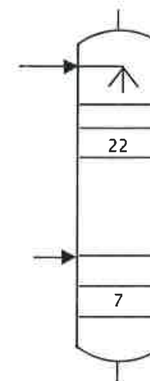
Gr. 19 Installation de distribution.



Dispositif de distribution des fluides, pulvérisateur en général.



Tour de refroidissement ou aéroréfrigérant équipé de pulvérisateur d'eau.



Colonne avec plateaux et pulvérisateur d'eau avec indications du nombre de plateaux.

Ea

Fl
le

Symboles des tuyauteries

Circuit principal de F.F. solutions ou mélange de fluide frigorigène.

Circuit secondaire de F.F. solutions ou mélange de fluide frigorigène.

Fluide caloporteur

Eau de refroidissement

Autres substances (ex : huile)

Produit à refroidir ou à réchauffer (y compris l'eau)

Tuyauteries, réchauffées ou refroidies

Flux, déplacement dans le sens de la flèche

Circuit secondaire de F.F. solutions ou mélange de F.F.

Tuyauteries isolées

Conduite de commande

Capillaire

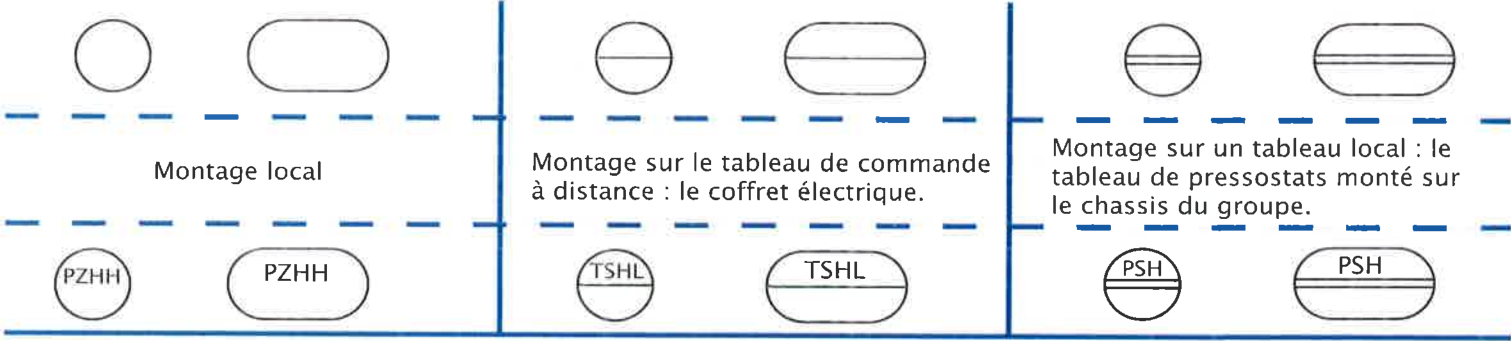
Tuyauteries souples

Conduite avec une connexion en T

Intersection de conduites sans connexion

Code mnémonique des appareils de mesurage et de contrôle (NF EN 1861).

Symboles et emplacements.



Sélection des variables utilisées dans la profession.

	Première lettre (1)		Lettres suivantes (1)
	Variable initiale ou mesurée (5)	avec éventuellement un modificateur → Modificateur	Affichage ou résultat
A			Alarme
C			Commande
D	Masse volumique	Différence	
E	Toute variable électrique (2)		
F	Débit	Rapport	
H	Manuel (6)		Haut/maxi
I			Indication
L	Niveau		Bas/mini
M	Humidité ou buée		
P	Pression ou vide		
Q	Qualité (analyse, concentration, conductivité,...	Intégration ou totalisation	Intégration ou sommation
R	Rayonnement nucléaire		Enregistrement
S	Vitesse ou fréquence		Commutation
U	Variable multiple (4)		
T	Température		Transmission
Z			Action de secours ou de sureté

Exemples d'identification d'appareils de mesure et de contrôle.

PDSL

P ⇨ pression
D ⇨ différence
S ⇨ commutation
L ⇨ bas/mini

L'identification correspond à un pressostat différentiel.

Le contact s'ouvre lorsque le ΔP diminue.

ex : protection d'une pompe.

PZHH

P ⇨ pression
Z ⇨ coupure en sécurité
H ⇨ réarmement manuel
H ⇨ haut/maxi

L'identification correspond à un pressostat HP.

Le contact s'ouvre lorsque la pression augmente.

ex : circuit de condensation.

PDSH

P ⇨ pression
D ⇨ différence
S ⇨ commutation
H ⇨ haut/maxi

L'identification correspond à un pressostat différentiel.

Le contact s'ouvre lorsque le ΔP augmente.

ex : détection du colmatage d'un filtre.

FI

F ⇨ débit
I ⇨ indication

L'identification correspond à un indicateur de débit.

Une turbine ou une palette visualise la circulation du fluide dans la tuyauterie.

Informations extraites de la norme NF EN 1861 en complément du tableau de la page de gauche.

(1) Les lettres majuscules sont utilisées pour la variable mesurée ou initiale et les lettres suivantes pour l'affichage ou le résultat. Il est préférable d'utiliser les lettres majuscules pour les modificateurs mais les minuscules peuvent être adoptées lorsqu'elles facilitent la compréhension.
(2) Une note complémentaire spécifie la propriété mesurée.
(4) La lettre U peut être utilisée à la place d'une série de premières lettres lorsqu'une multiplicité d'entrées représentant des variables dissemblables alimentent une seule unité.
(5) Lorsqu'un instrument peut avoir deux variables mesurées ou initiales, le code de la première lettre représente le code de la fonction première. Exemple : pressostat avec indication locale PIS.
(6) Si exigé les lettres H et L utilisées pour indiquer haut/max. ou bas/min. peuvent être associées au symbole de l'instrument. Lorsqu'elles sont utilisées, elles peuvent être placées à l'extérieur du cercle et adjacentes à celui-ci.

NOTA.
Lorsqu'un utilisateur a une exigence pour une variable mesurée ou initiale qui n'a pas été allouée et qu'il est nécessaire de répéter sur un contrat particulier, les lettres N, O et Y peuvent être utilisées.
Lorsqu'un utilisateur a une exigence pour une variable mesurée ou initiale qui peut être utilisée soit une fois, soit un nombre de fois limité, la lettre X peut être utilisée.

Applications de la norme NF EN 1861.

Exemples d'identification d'appareils de mesure et de contrôle.

Variable contrôlée	Appareil à contact en commutation	Régulateur		
		Sans indicateur visuel	Avec indicateur visuel	Transmetteur
Température	TSHL	TC	TIC	TT
Pression	PSHL	PC	PIC	PT
Pression différentielle	PDSHL	PDC	PDIC	PDT
Débit	FSHL	FC	FIC	IT
Niveau	LSHL	LC	LIC	LT
Humidité	MSHL	MC	MIC	MT
Qualité		QC	QIC	QT
Variables multiples	USHL			

Applications de la norme NF EN 1861.

Exemples d'identification d'appareils de mesure et de contrôle.

Variable contrôlée	Elément de mesure électronique	Indicateur			Appareils à contacts			
		.Indicateur visuel	Indicateur de la mesure	Indicateur de la mesure avec alarme	Contact s'ouvrant à la baisse	Contact s'ouvrant à la hausse	Contact avec alarme basse	Contact avec alarme haute
Température	TE		TI	TIA	TSL	TSH	TSAL	TSAH
Pression	PE		PI	PIA	PSL	PSH	PSAL	PSAH
Pression différentielle	PDE		PDI	PDIA	PDSL	PDSH	PDSAL	PDSAH
Débit	FE	FG	FI	FIA	FSL	FSH	FSAL	FSAH
Niveau		LG	LI	LIA	LSL	LSH	LSAL	LSAH
Humidité	ME		MI	MIA	MSL	MSH	MSAL	MSAH
Qualité			QI	QIA				
Variables multiples	UE				USL	USH	USAL	USAH

Applications de la norme NF EN 1861.

Exemples d'identification d'appareils de mesure et de contrôle.

Variable contrôlée	Appareil à contact en commutation	Régulateur		
		Sans indicateur visuel	Avec indicateur visuel	Transmetteur
Température	TSHL	TC	TIC	TT
Pression	PSHL	PC	PIC	PT
Pression différentielle	PDSHL	PDC	PDIC	PDT
Débit	FSHL	FC	FIC	IT
Niveau	LSHL	LC	LIC	LT
Humidité	MSHL	MC	MIC	MT
Qualité		QC	QIC	QT
Variables multiples	USHL			

L

Les conversions d'unités.

Conversion des unités de puissance.

	KW	Kcal/h	BTU Refrig. (Kcal/s)	BTU BTU/h	Standard ton of refrig. US ton	British ton of refrig. Br. ton
KW	1	860	0,2389	3414	0,2846	0,2572
Kcal/h	1,160 . 10^{-3}	1	0,278.10^{-3}	3,968	0,331.10^{-3}	0,299.10^{-3}
BTU refrig. (Kcal/s)	4,186	3600	1	14285	1,190	1,078
BTU BTU/h	0,293.10^{-3}	0,252	0,07.10^{-3}	1	0,083.10^{-3}	75,31.10^{-6}
Standard ton of refrig. US ton	3,513	3024	0,831	12000	1	0,9037
British ton of refrig. Br. ton	3,888	3340	0,9277	13260	1,1045	1

cheval vapeur métrique ≈ 735,499 W
cheval vapeur US ou UK (hp) ≈ 745,7 W

Conversion des unités d'énergie, de travail et de quantité de chaleur.

	joule	kilocalorie	kilowatt heure	British Thermal unit Btu	Ton day of refrigeration ton-day
joule	1	0,239.10^{-3}	0,278.10^{-6}	0,948.10^{-3}	3,28.10^{-9}
kilocalorie	4190	1	1,163.10^{-3}	3,968	13,779.10^{-6}
kilowatt heure	3 600 000	860	1	3412,8	11,85.10^{-3}
British Thermal unit Btu	1055	0,252	0,293.10^{-3}	1	3,472.10^{-6}
Ton day of refrigeration ton-day	304 000 000	72570	84,39	288 000	1

Table de conversion des pressions.

	N/m^2 ou Pa	bar	mbar	atm.	Torr mm Hg	mm CE	psi * ou lb/in^2
1 N/m^2 ou 1 Pa	1	10^{-5}	10^{-2}	$0,9869 . 10^{-5}$	$0,750 . 10^{-2}$	0,102	$1,45 . 10^{-4}$
1 bar	10^5	1	10^3	0,9869	750	$1,02 . 10^4$	14,50
1 mbar	10^2	10^{-3}	1	$0,9869 . 10^{-3}$	0,750	10,197	$1,45 . 10^{-2}$
1 atm.	101325	1,01325	1013,25	1	760	$10,332 . 10^3$	14,70
1 Torr 1 mm Hg	133	$1,33 . 10^{-3}$	1,333	$1,3157 . 10^{-3}$	1	13,59	$1,933 . 10^{-2}$
1 mm CE	9,81	$9,81 . 10^{-5}$	$9,81 . 10^{-2}$	$9,68 . 10^{-5}$	0,0736	1	$1,42 . 10^{-3}$
1 psi * ou 1 lb/in^2	6895	0,0689	68,95	0,068	51,7	703	1

* psi = pound per square inch
lb c'est l'abréviation de pound en anglais.
inch (pouce) = 25,4 mm.

Table de conversion des pressions bar/psi (de 1 à 180 psi).

Bar	PSI	Bar	PSI	Bar	PSI	Bar	PSI	Bar	PSI	Bar	PSI
0,069	1	2,1374	-31	4,2058	61	6,2742	91	8,349	121	10,419	151
0,0138	2	2,2063	32	4,2748	62	6,3432	92	8,418	122	10,488	152
0,0207	3	2,2753	33	4,3437	63	6,4121	93	8,487	123	10,557	153
0,0276	4	2,3442	34	4,4126	64	6,4811	94	8,556	124	10,626	154
0,0345	5	2,4132	35	4,4816	65	6,5500	95	8,625	125	10,695	155
0,0414	6	2,4821	36	4,5505	66	6,6190	96	8,694	126	10,764	156
0,0483	7	2,5511	37	4,6195	67	6,6879	97	8,763	127	10,833	157
0,0552	8	2,6200	38	4,6884	68	6,7569	98	8,832	128	10,902	158
0,0621	9	2,6890	39	4,7574	69	6,8258	99	8,901	129	10,971	159
0,0689	10	2,7579	40	4,8263	70	6,8948	100	8,970	130	11,04	160
0,7584	11	2,8269	41	4,8953	71	6,969	101	9,039	131	11,109	161
0,8274	12	2,8959	42	4,9642	72	7,038	102	9,108	132	11,178	162
0,8963	13	2,9647	43	5,0332	73	7,107	103	9,177	133	11,247	163
0,9653	14	3,0337	44	5,1021	74	7,176	104	9,246	134	11,316	164
1,0342	15	3,1026	45	5,1711	75	7,245	105	9,315	135	11,385	165
1,1032	16	3,1716	46	5,2400	76	7,314	106	9,384	136	11,454	166
1,1721	17	3,2405	47	5,3090	77	7,383	107	9,453	137	11,523	167
1,2411	18	3,3095	48	5,3779	78	7,452	108	9,522	138	11,592	168
1,3100	19	3,3784	49	5,4469	79	7,521	109	9,591	139	11,661	169
1,3790	20	3,4474	50	5,5158	80	7,590	110	9,660	140	11,730	170
1,4479	21	3,5163	51	5,5848	81	7,659	111	9,729	141	11,799	171
1,5168	22	3,5853	52	5,6537	82	7,728	112	9,798	142	11,868	172
1,5857	23	3,6542	53	5,7227	83	7,797	113	9,867	143	11,937	173
1,6547	24	3,7232	54	5,7916	84	7,866	114	9,936	144	12,006	174
1,7237	25	3,7921	55	5,8605	85	7,935	115	10,005	145	12,075	175
1,7926	26	3,8611	56	5,9295	86	8,004	116	10,074	146	12,144	176
1,8616	27	3,9300	57	5,9984	87	8,073	117	10,143	147	12,213	177
1,9305	28	3,9990	58	6,0674	88	8,142	118	10,212	148	12,282	178
1,9995	29	4,0679	59	6,1363	89	8,821	119	10,281	149	12,351	179
2,0684	30	4,1369	60	6,2053	90	8,280	120	10,350	150	12,420	180

Table de conversion des pressions bar/psi (de 181 à 360 psi).

Bar	PSI	Bar	PSI	Bar	PSI	Bar	PSI	Bar	PSI	Bar	PSI
12,489	181	14,559	211	16,599	241	18,669	271	20,739	301	22,809	331
12,558	182	14,628	212	16,668	242	18,738	272	20,808	302	22,878	332
12,627	183	14,697	213	16,737	243	18,807	273	20,877	303	22,947	333
12,696	184	14,766	214	16,806	244	18,876	274	20,946	304	23,016	334
12,765	185	14,835	215	16,875	245	18,945	275	21,015	305	23,085	335
12,834	186	14,904	216	16,944	246	19,014	276	21,084	306	23,154	336
12,903	187	14,973	217	17,013	247	19,083	277	21,153	307	23,223	337
12,972	188	15,042	218	17,082	248	19,152	278	21,222	308	23,292	338
13,041	189	15,111	219	17,151	249	19,221	279	21,291	309	23,361	339
13,110	190	15,18	220	17,22	250	19,29	280	21,36	310	23,43	340
13,179	191	15,249	221	17,289	251	19,359	281	21,429	311	23,499	341
13,248	192	15,318	222	17,358	252	19,428	282	21,498	312	23,568	342
13,317	193	15,387	223	17,427	253	19,497	283	21,567	313	23,637	343
13,386	194	15,456	224	17,496	254	19,566	284	21,636	314	23,706	344
13,455	195	15,525	225	17,565	255	19,635	285	21,705	315	23,775	345
13,524	196	15,589	226	17,634	256	19,704	286	21,774	316	23,844	346
13,593	197	15,663	227	17,703	257	19,773	287	21,843	317	23,913	347
13,662	198	15,732	228	17,772	258	19,842	288	21,912	318	23,982	348
13,731	199	15,801	229	17,841	259	19,911	289	21,981	319	24,051	349
13,800	200	15,87	230	17,910	260	19,98	290	22,05	320	24,12	350
13,869	201	15,939	231	17,979	261	20,049	291	22,119	321	24,189	351
13,938	202	15,978	232	18,048	262	20,118	292	22,188	322	24,258	352
14,007	203	15,047	233	18,117	263	20,187	293	22,257	323	24,327	353
14,076	204	15,116	234	18,186	264	20,256	294	22,326	324	24,396	354
14,145	205	16,185	235	18,255	265	20,325	295	22,395	325	24,465	355
14,214	206	16,254	236	18,324	266	20,394	296	22,464	326	24,534	356
14,283	207	16,323	237	18,393	267	20,463	297	22,533	327	24,603	357
14,352	208	16,392	238	18,462	268	20,532	298	22,602	328	24,672	358
14,421	209	16,461	239	18,531	269	20,601	299	22,671	329	24,741	359
14,490	210	16,53	240	18,60	270	20,67	300	22,74	330	24,81	360

Table de conversion °C/°F.

Formules de conversion : $°C = \frac{(°F-32)}{1,8}$; $°F = 1,8°C + 32$

°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F
-49	-56,2	-19	-2,2	11	51,8	41	105,8	71	159,8	101	213,8
-48	-54,4	-18	-0,4	12	53,6	42	107,6	72	161,6	102	215,6
-47	-52,6	-17	1,4	13	55,4	43	109,4	73	163,4	103	217,4
-46	-50,8	-16	3,2	14	57,2	44	111,2	74	165,2	104	219,2
-45	-49,0	-15	5,0	15	59,0	45	113,0	75	167,0	105	221,0
-44	-47,2	-14	6,8	16	60,8	46	114,8	76	168,8	106	222,8
-43	-45,4	-13	8,6	17	62,6	47	116,6	77	170,6	107	224,6
-42	-43,6	-12	10,4	18	64,4	48	118,4	78	172,4	108	226,4
-41	-41,8	-11	12,2	19	66,2	49	120,2	79	174,2	109	228,2
-40	-40,0	-10	14,0	20	68,0	50	122,0	80	176,0	110	230,0
-39	-38,2	-9	15,8	21	69,8	51	123,8	81	177,8	111	321,8
-38	-36,4	-8	17,6	22	71,6	52	125,6	82	179,6	112	233,6
-37	-34,6	-7	19,4	23	73,4	53	127,4	83	181,4	113	235,4
-36	-32,8	-6	21,2	24	75,2	54	129,2	84	183,2	114	237,2
-35	-31,0	-5	23,0	25	77,0	55	131,0	85	185,0	115	239,0
-34	-29,2	-4	24,8	26	78,8	56	132,8	86	186,8	116	240,8
-33	-27,4	-3	26,6	27	80,6	57	134,6	87	188,6	117	242,6
-32	-25,6	-2	28,4	28	82,4	58	136,4	88	190,4	118	244,4
-31	-23,8	-1	30,2	29	84,2	59	138,2	89	192,2	119	246,2
-30	-22,0	0	32,0	30	86,0	60	140,0	90	194,0	120	248,0
-29	-20,2	1	33,8	31	87,8	61	141,8	91	195,8	121	249,8
-28	-18,4	2	35,6	32	89,6	62	143,6	92	197,6	122	251,6
-27	-16,6	3	37,4	33	91,4	63	145,4	93	199,4	123	253,4
-26	-14,8	4	39,2	34	93,2	64	147,2	94	201,2	124	255,2
-25	-13,0	5	41,0	35	95,0	65	149,0	95	203,0	125	257,0
-24	-11,2	6	42,8	36	96,8	66	150,8	96	204,8	126	258,8
-23	-9,4	7	44,6	37	98,6	67	152,6	97	206,6	127	260,6
-22	-7,6	8	46,4	38	100,4	68	154,4	98	208,4	128	262,4
-21	-5,8	9	48,2	39	102,2	69	156,2	99	210,2	129	264,2
-20	-4,0	10	50,0	40	104,0	70	158,0	100	212,0	130	266,0

Conversion pouces ⇔ millimètres.

Pouces		Millimètres	Pouces		Millimètres	Pouces		Millimètres
1/64	0,016	0,397	25/64	0,391	9,922	49/64	0,766	19,447
1/32	0,031	0,794	13/32	0,406	10,319	25/32	0,781	19,844
3/64	0,047	1,191	27/64	0,422	10,716	51/64	0,797	20,241
1/16	0,063	1,588	7/16	0,438	11,113	13/16	0,813	20,638
5/64	0,078	1,984	29/64	0,453	11,509	53/64	0,828	21,034
3/32	0,094	2,381	15/32	0,469	11,906	27/32	0,844	21,431
7/64	0,109	2,778	31/64	0,484	12,303	55/64	0,859	21,828
1/8	0,125	3,175	1/2	0,500	12,700	7/8	0,875	22,225
9/64	0,141	3,572	33/64	0,516	13,097	57/64	0,891	22,622
5/32	0,156	3,969	17/32	0,531	13,494	29/32	0,906	23,019
11/64	0,172	4,366	35/64	0,547	13,891	59/64	0,922	23,416
3/16	0,188	4,763	9/16	0,563	14,288	15/16	0,938	23,813
13/64	0,203	5,159	37/64	0,578	14,684	61/64	0,953	24,209
7/32	0,219	5,556	19/32	0,594	15,081	31/32	0,969	24,606
15/64	0,234	5,953	39/64	0,609	15,478	63/64	0,984	25,003
1/4	0,250	6,350	5/8	0,625	15,875	1	1,000	25,4
17/64	0,266	6,747	41/64	0,641	16,272			
9/32	0,281	7,144	21/32	0,656	16,669			
19/64	0,297	7,541	43/64	0,672	17,066			
5/16	0,313	7,938	11/16	0,688	17,463			
21/64	0,328	8,334	45/64	0,703	17,859			
11/32	0,344	8,731	23/32	0,719	18,256			
23/64	0,359	9,128	47/64	0,734	18,653			
3/8	0,375	9,525	3/4	0,750	19,050			

Unités anglo-américaines relatives aux longueurs:

- inch (pouce) (in.) =25,4 mm
- foot (pied) (ft = 12 in.=304,8mm
- yard (yd = 3ft) = 0,914 mètre

Conversion pouces ⇔ millimètres.

Pouces		Millimètres	Pouces		Millimètres	Pouces		Millimètres
1/64	0,016	0,397	25/64	0,391	9,922	49/64	0,766	19,447
1/32	0,031	0,794	13/32	0,406	10,319	25/32	0,781	19,844
3/64	0,047	1,191	27/64	0,422	10,716	51/64	0,797	20,241
1/16	0,063	1,588	7/16	0,438	11,113	13/16	0,813	20,638
5/64	0,078	1,984	29/64	0,453	11,509	53/64	0,828	21,034
3/32	0,094	2,381	15/32	0,469	11,906	27/32	0,844	21,431
7/64	0,109	2,778	31/64	0,484	12,303	55/64	0,859	21,828
1/8	0,125	3,175	1/2	0,500	12,700	7/8	0,875	22,225
9/64	0,141	3,572	33/64	0,516	13,097	57/64	0,891	22,622
5/32	0,156	3,969	17/32	0,531	13,494	29/32	0,906	23,019
11/64	0,172	4,366	35/64	0,547	13,891	59/64	0,922	23,416
3/16	0,188	4,763	9/16	0,563	14,288	15/16	0,938	23,813
13/64	0,203	5,159	37/64	0,578	14,684	61/64	0,953	24,209
7/32	0,219	5,556	19/32	0,594	15,081	31/32	0,969	24,606
15/64	0,234	5,953	39/64	0,609	15,478	63/64	0,984	25,003
1/4	0,250	6,350	5/8	0,625	15,875	1	1,000	25,4
17/64	0,266	6,747	41/64	0,641	16,272			
9/32	0,281	7,144	21/32	0,656	16,669			
19/64	0,297	7,541	43/64	0,672	17,066			
5/16	0,313	7,938	11/16	0,688	17,463			
21/64	0,328	8,334	45/64	0,703	17,859			
11/32	0,344	8,731	23/32	0,719	18,256			
23/64	0,359	9,128	47/64	0,734	18,653			
3/8	0,375	9,525	3/4	0,750	19,050			

Unités anglo-américaines relatives aux longueurs:

- inch (pouce) (in.) =25,4 mm
- foot (pied) (ft = 12 in.=304,8mm
- yard (yd = 3ft) = 0,914 mètre

es

Notes personnelles

Au cours de nos formations puis de nos interventions, il nous est souvent indispensable de rédiger des fiches pour synthétiser nos connaissances ou retrouver rapidement des informations.

C'est ce que je vous propose avec cet aide-mémoire.

Pour faciliter sa lecture, les fiches sont composées d'un plan avec un texte explicatif en regard.

Je bénéficie d'une expérience de 25 ans dans l'industrie frigorifique dans différentes activités :

montage, maintenance et mise en service auprès d'installateurs, puis l'exploitation frigorifique sur un site portuaire.
Ensuite pendant 15 ans, j'ai formé des adultes aux métiers du froid.

Ces différentes expériences m'ont incité à rédiger cet aide-mémoire.

Il est destiné :

- ⇨ aux techniciens en cours d'études, apprentis, étudiants, stagiaires,
- ⇨ aux techniciens confirmés pour rafraîchir ou compléter leurs connaissances,
- ⇨ aux électro-mécaniciens de l'agroalimentaire qui gèrent des installations frigorifiques.

978-2-7466-4967-5



Les clés du froid

